فیزیک کامل ریاضی

میکروطلایی

فصل ۲

ویژگی‌های فیزیکی مواد

gajmarket

فصل ۲ ویژگی‌های فیزیکی مواد

قسمت اوّل: نیروی بین مولکولی و حالت‌های ماده

این قسمت شامل بخش‌های زیر است:

آ) حالت‌های ماده ← ب) نیروی بین مولکولی و خواص آن

آ) حالت‌های ماده

در این بخش، حالت‌های مختلف ماده شامل جامد، مایع، گاز و پلاسما مورد بررسی قرار می‌گیرد. حالت ماده به چگونگی حرکت اتم‌ها یا مولکول‌های آن و اندازهٔ نیروی بین آن‌ها بستگی دارد.

اندازهٔ اتم و مولکول: اندازهٔ اتم‌ها حدود یک تا چند آنگستروم $(1\text{Å} = 10^{-10}\,\text{m})$ است. اندازهٔ مولکول‌ها بستگی به این دارد که از چند اتم تشکیل شده‌اند. به عنوان مثال، اندازهٔ برخی از درشت‌مولکول‌ها، مانند بسپارها (پلیمرها)، می‌تواند تا ۱۰۰۰ آنگستروم نیز باشد.

تست: اندازهٔ بزرگ‌ترین بسپارها (پلیمرها) به کدام عدد نزدیک‌تر است؟

۱) ۱۰ آنگستروم ۲) ۱۰۰۰ میکرومتر ۳) ۱۰ میلی‌متر ۴) ۱۰۰ نانومتر

پاسخ: اندازهٔ بسپارهای (پلیمرهای) بزرگ در حدود ۱۰۰۰ آنگستروم است. از آن‌جایی که هر آنگستروم 10^{-10} متر می‌باشد، پس اندازهٔ این مولکول‌ها حدود 10^{-7} متر است. کافی است گزینه‌ها را بررسی کنیم.

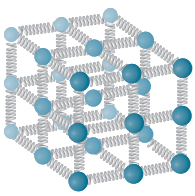
گزینهٔ (۲): $1000\mu\text{m} = 1000 \times 10^{-6}\,\text{m} = 10^{-3}\,\text{m}$ ، گزینهٔ (۱): $10\text{Å} = 10 \times 10^{-10}\,\text{m} = 10^{-9}\,\text{m}$

گزینهٔ (۴): $100\text{nm} = 100 \times 10^{-9}\,\text{m} = 10^{-7}\,\text{m}$ ، گزینهٔ (۳): $10\text{mm} = 10 \times 10^{-3}\,\text{m} = 10^{-2}\,\text{m}$

بنابراین گزینهٔ (۴) درست است.

آ ـ ۱) جامد

ذره‌های مواد جامد به دلیل نیروی بین مولکولی قوی، در محل خود ثابت و دارای ارتعاش و نوسان هستند. به همین دلیل شکل معینی داشته و تراکم‌ناپذیر هستند. نیروی بین مولکولی در جامدها، الکتریکی می‌باشد.

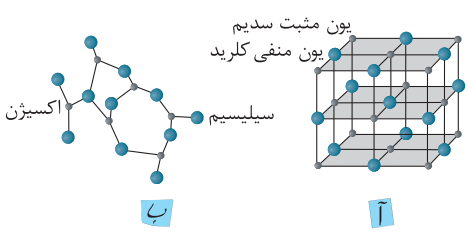


برای درک ساختار اتم‌ها، ذره‌ها را با فنرهایی (نیروی بین ذره‌ها به فنر تشبیه شده است.) متصل به یکدیگر، در نظر بگیرید. اگر جسم را گرم کنید، ذره‌ها در دامنهٔ وسیع‌تری ارتعاش می‌کنند. اگر اتم‌ها از حد معینی به هم نزدیک و یا از هم دور شوند، نیروی فنر، آن‌ها را به وضع اولیه بازمی‌گرداند، بنابراین جسم جامد شکل و اندازه‌های اولیهٔ خود را حفظ می‌کند.

انواع جامدها

جامدها به دو شکل بلورین و بی‌شکل وجود دارند:

آ) جامد بلورین: اتم‌های آن‌ها در طرح‌های منظم و تکرارشونده در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. مانند نمک‌ها، فلزها، مواد معدنی، الماس و یخ. برای تولید جامد بلورین، مایع را به آهستگی سرد می‌کنند تا مولکول‌ها فرصت کافی داشته باشند که در طرح منظمی کنار یکدیگر قرار گیرند.



ب) جامد بی‌شکل (آمورف): اتم‌ها و مولکول‌ها در طرح‌های منظمی کنار یکدیگر قرار ندارند. اگر مایع به سرعت سرد شود، مولکول‌ها فرصت کافی برای منظم شدن ندارند. در فیزیک به این‌گونه مواد آمورف می‌گویند که به هنگام گرم و سرد شدن تغییر حالت نمی‌دهند و شل و سفت می‌شوند مانند شیشه و قیر.

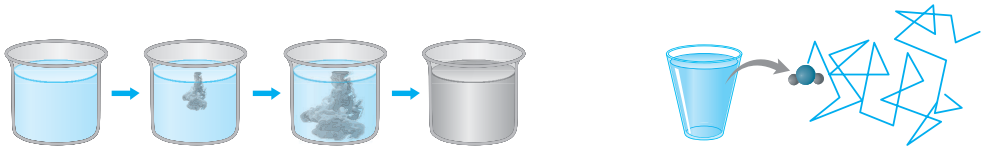
آ ـ ۲) مایع

نیروی بین مولکولی در مایع‌ها کم‌تر از جامدها است ولی نه به قدری که ذره‌ها از یکدیگر جدا شوند. فاصلهٔ ذره‌های سازندهٔ مایع و جامد تقریباً یکسان و در حدود یک آنگستروم است. به دلیل کاهش نیروی بین مولکولی، مولکول‌های مایع به راحتی روی یکدیگر می‌لغزند و می‌توانند شکل ظرف را به خود بگیرند.

تراکم‌ناپذیری و پدیدهٔ پخش در مایعات را به طور خلاصه بررسی می‌نماییم:

آ) تراکم‌ناپذیری: اگر درون بطری پلاستیکی را پر از آب کنید، هر چه سعی کنید، نمی‌توانید مایع را متراکم کنید. زیرا با نزدیک کردن مولکول‌ها به یکدیگر، نیروی دافعهٔ بسیار قوی بین آن‌ها ایجاد می‌شود و مانع از تراکم‌پذیری آن‌ها می‌شود.

ب) پخش: اگر درون ظرف آب، مایع رنگین بریزید، پس از مدتی تمام آب رنگی می‌شود و یا شکر و نمک، بدون هم زدن تا حدودی در کل آب پخش می‌شوند. حرکات نامنظم و کاتوره‌ای مولکول‌های آب پس از برخورد با ذرات رنگ یا شکر باعث پخش آن‌ها می‌شود.



تست: مساحت تقریبی دریاچهٔ خزر $۴۰۰\times۱۰^{۳}\,km^{۲}$ است. تقریباً چند لیتر نفت خام وارد دریاچه شود تا کل سطح دریاچه پوشانده شود؟ (اندازهٔ مولکول نفت حدود $۱۰\,Å$ است.)

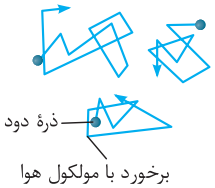
۱) ۴۰ ۲) ۴×۱۰^{۲} ۳) ۴×۱۰^{۵} ۴) ۴×۱۰^{۷}

پاسخ: نفت تا جایی در سطح آب پخش می‌شود که ضخامت لایهٔ نفتی برابر یک مولکول شود. ابتدا مساحت را به مترمربع $(m^{۲})$ تبدیل کرده و حجم نفت را بر حسب $m^{۳}$ به‌دست می‌آوریم:

$$V = A\times h = (۴\times۱۰^{۵}\,km^{۲})(۱۰\times۱۰^{-۱۰}\,m) = (۴\times۱۰^{۵}\times۱۰^{۶}\,m^{۲})(۱۰\times۱۰^{-۱۰}\,m)$$

$$= ۴\times۱۰^{۲}\,m^{۳} = ۴۰۰\,m^{۳} \xrightarrow{۱m^{۳}=۱۰^{۳}L} V = ۴\times۱۰^{۵}\,L \Rightarrow$$ گزینهٔ (۳) درست است.

آ ـ ۳) گاز



گازها شکل مشخصی ندارند و نیروی بین مولکول‌های آن‌ها به قدری ضعیف است که مولکول‌ها آزادانه و با تندی بسیار زیاد می‌توانند به هر طرف حرکت کنند و با یکدیگر و با دیواره‌های ظرف برخورد کنند. فاصلهٔ میانگین بین مولکول‌های گازی مانند هوا در شرایط عادی تا حدود $۳۵\,Å$ می‌شود که بسیار بیش‌تر از اندازهٔ مولکول‌های هوا (۱ تا ۳ آنگستروم) است. به دلیل فاصلهٔ بسیار زیاد بین مولکول‌های گازها، به راحتی می‌توان گازها را متراکم کرد.

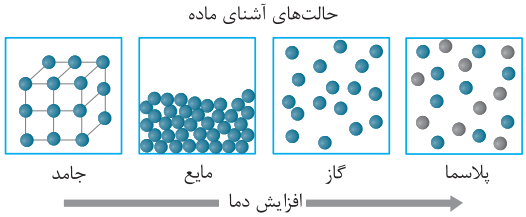
نکته پدیدهٔ پخش در گازها بسیار سریع‌تر از مایع‌ها رخ می‌دهد، زیرا سرعت حرکت ذره‌های گازها بسیار بیش‌تر از مایع‌ها است. تندی مولکول‌های هوا در دمای اتاق حدود $۵۰۰\,m/s$ است.

تست: در کدام گزینه، یک ماده در حالت گاز و مایع تقریباً رفتار مشابهی دارد؟

۱) فاصلهٔ ذرات ۲) تراکم‌پذیری ۳) پدیدهٔ پخش ۴) تندی ذرات

پاسخ: پدیدهٔ پخش هم در مایع‌ها و هم در گازها رخ می‌دهد. تنها تفاوت این است که در گازها بسیار سریع‌تر رخ می‌دهد. بنابراین گزینهٔ (۳) درست است. بقیهٔ گزینه‌ها در مورد مایع و گاز متفاوت است.

آ ـ ۴) حالت چهارم ماده، پلاسما



اگر دمای گاز را تا حد زیادی بالا ببریم، تعدادی از الکترون‌ها از تعدادی از اتم‌ها جدا شده و آن‌چه ایجاد می‌شود تعدادی الکترون و تعدادی یون مثبت و اتم‌های خنثی است که به این حالت، پلاسما می‌گویند. خورشید، مادهٔ درون ستارگان و بیش‌تر فضای بین ستارگان از جنس پلاسما است.

ب) نیروی بین مولکولی و خواص آن

در این بخش نیروهای هم‌چسبی، دگرچسبی و اثرهای آن‌ها شامل کشش سطحی، تر شوندگی و لوله‌های مویین را بررسی می‌کنیم (اثرات بیان‌شده را در مایع‌ها بررسی می‌کنیم).

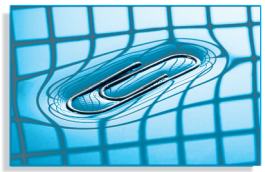
نیروی هم‌چسبی: نیروهای بین مولکول‌های همسان مانند نیروهای بین مولکول‌های آب را نیروی هم‌چسبی می‌گویند. این نیروی جاذبه باعث می‌شود مولکول‌های مایع از هم جدا نشوند، البته اگر مولکول‌های مایع را به یکدیگر نزدیک کنید تا متراکم شوند، نیروی دافعهٔ بزرگی ایجاد می‌شود و مانع از متراکم شدن مایع می‌شود.

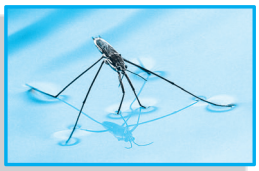
نکته نیروی بین مولکولی کوتاه‌بُرد است، یعنی وقتی فاصلهٔ بین مولکول‌ها چند برابر فاصلهٔ بین مولکولی شود، نیروی بین مولکولی در عمل صفر می‌شود.

تست: هنگامی که قطعه‌های شیشه را قدری گرم کنیم تا نرم شوند، می‌توان آن‌ها را به هم چسباند؛ در حالی‌که در دمای پایین‌تر این‌گونه نبودند. کدام گزینه در مورد این پدیده درست است؟

۱) هر چه دما بالاتر برود، نیروی بین مولکولی افزایش می‌یابد.
۲) با گرم کردن قطعه‌های شیشه و نرم شدن آن‌ها، فاصلهٔ بین مولکول‌های آن‌ها کم‌تر می‌شود.
۳) با گرم کردن قطعه‌های شیشه، نیروی بین مولکول‌های آن‌ها بلندبُرد شده و یکدیگر را جذب می‌کنند.
۴) در حالت کلی، هر ماده‌ای که گرم شود، مولکول‌هایش راحت‌تر به هم می‌چسبند.

پاسخ: در اثر گرم و شل شدن شیشه، فاصلهٔ بین تعداد زیادی از مولکول‌ها در حد فاصلهٔ بین مولکولی می‌شود و نیروی کوتاه‌بُرد مولکولی می‌تواند اثر کند و مولکول‌ها یکدیگر را جذب می‌کنند. بنابراین گزینهٔ (۲) درست است.





کشش سطحی: نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های سطح مایع باعث می‌شود سطح مایع مانند پرده‌ای عمل کند که می‌تواند اجسام سبک مانند حشرات و یا تیغ فلزی را علی‌رغم چگالی بالاتر فلز نسبت به مایع، شناور نگه دارد.

کروی بودن قطرات مایع: اثبات می‌شود به دلیل کشش سطحی، مایع‌ها تمایل دارند کوچک‌ترین سطح ممکن را داشته باشند و از نظر هندسی در کره نسبت سطح به حجم کم‌ترین مقدار ممکن است، بنابراین قطرات در حال سقوط تقریباً کروی شکل هستند و قطرات مایع روی سطح نیز تا حد ممکن به شکل کره باقی می‌مانند، هر چند هر چه جرم مایع بیش‌تر باشد، به دلیل نیروی گرانشی (وزن) سطح تماس مایع با سطح افقی تخت‌تر می‌شود.

عوامل مؤثر در کشش سطحی: چند عامل در میزان کشش سطحی مؤثر می‌باشند که عبارتند از:

۱) ناخالصی: موادی مانند صابون و مایع ظرفشویی باعث کاهش کشش سطحی می‌شوند.

۲) دمای مایع: افزایش دما، کشش سطحی را کاهش می‌دهد.

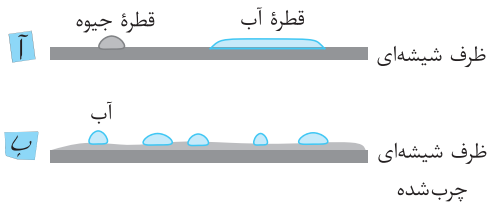
۳) جنس مایع: در شرایط یکسان مایعی مانند روغن در مقایسه با آب کشش سطحی بیش‌تری دارد.

نیروی دگرچسبی: نیروی جاذبهٔ بین مولکول‌های دو مادهٔ مختلف را دگرچسبی می‌گویند.

دگرچسبی باعث ایجاد پدیده‌هایی مانند تر شوندگی و اثر مویینگی می‌شود، که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم:

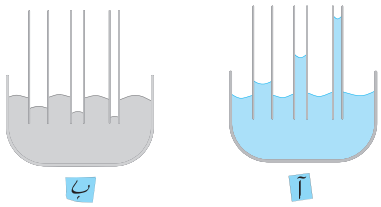
تَرشوندگی: اگر نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و جامد، بیش‌تر از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع باشد، مایع روی جسم جامد پخش می‌شود و اصطلاحاً می‌گویند مایع، جسم جامد را تر یا خیس کرده و در غیر این صورت مایع روی جسم جامد پخش نمی‌شود و می‌گویند مایع، جسم جامد را تر نکرده است.

مطابق شکل (آ)، آب شیشهٔ تمیز را تر می‌کند ولی جیوه به‌صورت کروی روی سطح شیشه‌ای می‌ماند. بنابراین نتیجه می‌گیریم نیروی هم‌چسبی مولکول‌های آب کم‌تر از نیروی دگرچسبی مولکول‌های آب و شیشه است. ولی نیروی هم‌چسبی مولکول‌های جیوه بیش‌تر از نیروی دگرچسبی مولکول‌های جیوه و شیشه است. اگر سطح شیشه چرب شود، مطابق شکل (ب)، نیروی دگرچسبی مولکول آب با سطح شیشهٔ چرب‌شده کاهش می‌یابد و کم‌تر از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب خواهد شد. به همین دلیل آب شیشهٔ چرب‌شده را تر نمی‌کند.

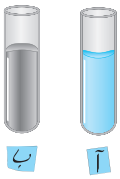


اثر مویینگی: اگر یک نی شیشه‌ای را داخل ظرف آب قرار دهید، آب درون نی تا سطح آب داخل ظرف بالا می‌آید ولی اگر قطر لولهٔ شیشه‌ای در حدود ۰/۱mm باشد که اصطلاحاً به آن لولهٔ مویین (مومانند) می‌گویند، آب درون لوله تا ارتفاعی بیش‌تر از سطح آب داخل ظرف بالا می‌آید و هر چه لولهٔ مویین نازک‌تر باشد، آب تا ارتفاع بیش‌تری بالا می‌آید. (شکل آ)

حال اگر لولهٔ مویین را داخل ظرف جیوه قرار دهید، ارتفاع جیوهٔ داخل لوله پایین‌تر از ارتفاع جیوهٔ درون ظرف است و هر چه لوله نازک‌تر باشد، جیوهٔ درون لوله پایین‌تر قرار می‌گیرد. (شکل ب)



علت اثر مویینگی: نیروی دگرچسبی آب و شیشه، بیش‌تر از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب است، بنابراین شیشه به میزانی آب را به بالا جذب می‌کند تا نیروی دگرچسبی بتواند وزن آب بالا آمده را تحمل کند و به همین دلیل است که هر چه لوله نازک‌تر باشد، آب تا ارتفاع بیش‌تری بالا می‌رود. در مورد جیوه نیروی دگرچسبی جیوه و شیشه کم‌تر از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های جیوه است، بنابراین جیوه تمایل ندارد درون لوله چندان بالا برود و سطح جیوه در لولهٔ مویین پایین‌تر از سطح جیوهٔ داخل ظرف می‌شود.



توجه در شکل (آ)، سطح آب داخل لولهٔ مویین مقعر (فرو رفته) و در شکل (ب) سطح جیوه در لولهٔ مویین محدب (برآمده) است.

تست: چه تعداد از عبارت‌های زیر درست هستند؟

آ) با افزایش دما، قطره‌های روغنی که از قطره‌چکان خارج می‌شوند، کوچک‌تر می‌شوند.

ب) همیشه وقتی یک لولهٔ مویین را درون آب قرار می‌دهیم، آب درون لوله بالا می‌آید.

پ) سطح جیوه درون لولهٔ مویین شیشه‌ای برآمده است.

ت) درون لولهٔ مویین، آب تا جایی بالا می‌آید که نیروی دگرچسبی بر فشار هوا غلبه کند.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

پاسخ: عبارت‌های (آ) و (پ) درست هستند. عبارت (ب) نادرست است. زیرا اگر سطح داخلی لولهٔ مویین چرب باشد، آب درون لوله بالا نمی‌آید. بلکه بر عکس مانند جیوه سطح آب در لولهٔ مویین پایین‌تر از سطح آب در ظرف می‌ایستد. عبارت (ت) نیز نادرست است. آب در لولهٔ مویین تا جایی بالا می‌آید که وزن آب با نیروی دگرچسبی خنثی شود. بنابراین گزینهٔ (۲) درست است.

اکنون می‌توانید به تست‌های این قسمت در جلد تست پاسخ دهید.

فصل ۲ ویژگی‌های فیزیکی مواد

قسمت دوم: فشار

این قسمت شامل بخش‌های زیر است:

آ) تعریف فشار و فشار یک جسم جامد ← ب) فشار در مایع‌های ساکن ← پ) نیروی حاصل از فشار شاره ← ت) لوله‌های U شکل ← ث) رابطهٔ فشار هوا و ارتفاع

آ) تعریف فشار و فشار یک جسم جامد

فشار را به‌صورت نسبت اندازهٔ نیروی عمودی وارد بر یکای سطح تعریف می‌کنند.

$$P = \frac{F}{A}$$

یکای فشار N/m^2 است و هر یک نیوتون بر مترمربع را به افتخار یکی از دانشمندان برجستهٔ فیزیک، پاسکال می‌نامند. $1N/m^2 = 1Pa$

نکته ۱) فشار کمیتی نرده‌ای (اسکالر) است. ۲) اگر یک جسم جامد روی سطح افقی قرار بگیرد، نیروی F در رابطهٔ بالا همان نیروی وزن جسم است.

تست: شخصی به جرم ۶۰kg روی سطح افقی ایستاده است. اگر مساحت کف کفش‌های این شخص روی هم $300cm^2$ باشد، فشاری که این شخص به سطح افقی وارد می‌کند، چند پاسکال است؟ $(g = 10N/kg)$

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) 1×10^4 ۴) 2×10^4

پاسخ:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{600}{300\times10^{-4}} = 2\times10^4 Pa \Rightarrow$$ گزینهٔ (۴) درست است.

نکتهٔ STP وقتی یک جسم متوازی‌السطوح مانند استوانه، مکعب و ...، از یک مادهٔ همگن ساخته شده باشد و روی سطح افقی قرار داشته باشد می‌توانیم علاوه‌بر روش اصلی به‌صورت زیر نیز فشار ناشی از جسم را محاسبه کنیم:

$$P = \frac{mg}{A} = \frac{\rho Vg}{A} = \frac{\rho Ahg}{A} \Rightarrow \boxed{P = \rho gh}$$

دقت کنید در استفاده از این رابطه، باید یکاهای سمت راست رابطه، بر حسب یکاهای SI باشند تا فشار بر حسب پاسکال (Pa) به‌دست آید.

تست: مکعبی به ابعاد $20cm\times10cm\times5cm$ از ماده‌ای به چگالی $8g/cm^3$ ساخته شده است و از کوچک‌ترین سطح، روی سطح افقی قرار دارد. فشاری که این مکعب به سطح افقی وارد می‌کند، چند پاسکال است؟ $(g = 10N/kg)$

۱) $1/6\times10^5$ ۲) $1/6\times10^4$ ۳) 4×10^4 ۴) 4×10^3

پاسخ: روش STP: چون مکعب یک متوازی‌السطوح به حساب می‌آید، می‌توان به‌صورت زیر فشار آن را به‌دست آورد. فقط دقت کنید که وقتی مکعب از کوچک‌ترین سطح روی سطح افقی قرار دارد، ارتفاع آن ۲۰cm است. از طرفی توجه کنید که یکاها در SI باشند.

$$P = \rho gh = 8000\times10\times0/2 = 16000Pa = 1/6\times10^4 Pa \Rightarrow$$ گزینهٔ (۲) درست است.

روش عادی: در روش عادی ابتدا باید جرم مکعب را پیدا کنیم:

$$m = \rho V = (8000)(0/2\times0/1\times0/05) = 8kg$$

کوچک‌ترین سطح مکعب، سطحی است که اضلاع آن ۵cm و ۱۰cm هستند. بنابراین می‌توان نوشت:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{80}{0/1\times0/05} = 16000Pa = 1/6\times10^4 Pa$$

ب) فشار در مایع‌های ساکن

در این بخش ابتدا فشار حاصل از مایع و سپس فشار کل و اختلاف فشار بین دو نقطه درون مایع‌ها را بررسی می‌کنیم.

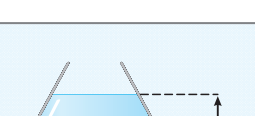
ب ـ ۱) فشار حاصل از مایع ساکن

می‌توان نشان داد که هرگاه درون یک ظرف مایعی می‌ریزیم، بدون در نظر داشتن شکل ظرف، فشار حاصل از مایع در هر نقطهٔ این ظرف به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$P_{\text{مایع}} = \rho gh$$

در این رابطه، ρ چگالی بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب (kg/m^3)، g شتاب گرانشی زمین بر حسب N/kg و h فاصلهٔ نقطهٔ مورد نظر تا سطح آزاد آن مایع بر حسب متر (m) است.

تست: مطابق شکل درون یک ظرف مایعی به چگالی $5\,g/cm^3$ ریخته‌ایم. فشار حاصل از این مایع در کف ظرف چند کیلوپاسکال است؟ $(g = 10\,N/kg)$



۱) 2×10^3 ۲) ۲۰ ۳) 1×10^3 ۴) ۱۰

پاسخ: بدون در نظر گرفتن شکل ظرف، فشار حاصل از مایع به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\rho = 5\,g/cm^3 = 5000\,kg/m^3$$

$$P = \rho gh = (5000)(10)(0/4) = 20000 = 2\times10^4\,Pa = 20\,kPa \Rightarrow$$

گزینهٔ (۲) درست است.

همان‌طور که می‌بینیم، باید یکاها در SI باشند.

تست: درون سه گلدان مطابق شکل تا ارتفاع یکسان آب ریخته‌ایم. اگر فشار در کف ظرف‌ها را P_1، P_2 و P_3 بنامیم، کدام گزینه صحیح است؟

۱) $P_3 > P_2 > P_1$ ۲) $P_3 < P_2 < P_1$
۳) $P_2 > P_3 > P_1$ ۴) $P_1 = P_2 = P_3$

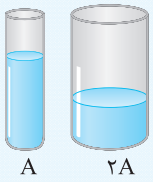
پاسخ: فشار مایع در کف ظرف‌ها طبق رابطهٔ $P = \rho gh$، به چگالی و ارتفاع مایع درون ظرف بستگی دارد و با توجه به یکسان بودن چگالی و ارتفاع مایع، فشار در کف ظرف‌ها برابر است. بنابراین گزینهٔ (۴) درست است.

نکتهٔ STP اگر ظرف حاوی مایع، استوانه‌ای شکل باشد، علاوه‌بر رابطهٔ $P = \rho gh$، می‌توان با استفاده از رابطهٔ $P = \frac{mg}{A}$ نیز فشار مایع را حساب کرد.

تست: درون دو ظرف استوانه‌ای شکل با مساحت‌های قاعدهٔ A و $2A$، آب با جرم یکسان ریخته شده است. فشار ناشی از مایع در کف ظرف کوچک چند برابر کف ظرف بزرگ است؟

۱) $\frac{1}{2}$ ۲) ۲ ۳) $\frac{1}{4}$ ۴) ۴

پاسخ: **روش STP:** چون ظرف‌ها به شکل استوانه هستند، پس کل وزن مایع‌ها روی کف ظرف‌ها است. بنابراین:



$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\frac{mg}{A}}{\frac{mg}{2A}} = 2 \Rightarrow$$

گزینهٔ (۲) درست است.

روش عادی: ارتفاع مایع در ظرف کوچک، دو برابر ارتفاع مایع در ظرف بزرگ است، زیرا:

$$m_1 = m_2 \xrightarrow[V=Ah]{m=\rho V} \rho \times A \times h_1 = \rho \times 2A \times h_2 \Rightarrow h_1 = 2h_2$$

$$P = \rho gh \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{\rho gh_1}{\rho gh_2} = \frac{h_1}{h_2} = 2$$

فشار به شکل ظرف بستگی ندارد.

ب ـ ۲) فشار در مایع‌ها با در نظر گرفتن فشار هوا

در سطح آزاد مایع‌ها، هوا وجود دارد. اگر بخواهیم فشار را در عمق h مایع ساکن پیدا کنیم، باید فشار هوا را نیز با فشار مایع جمع کنیم.

$$P = \underbrace{\rho gh}_{\text{فشار حاصل از مایع}} + \underbrace{P_0}_{\text{فشار هوا در سطح مایع}}$$

توجه اگر در صورت یک سؤال یا تست، فشار در عمق h مایع خواسته شده باشد، باید فشار در سطح مایع را نیز با فشار مایع جمع کنیم ولی اگر فقط فشار حاصل از مایع را خواسته بودند، لازم نیست فشار سطح مایع را با فشار مایع جمع کنید.

تست: در چه عمقی از آب بر حسب متر، فشار سه برابر فشار هوا است؟ ($\rho_{آب}=1\,g/cm^3$ ، $P_0=10^5\,Pa$)

۱) ۱۰ ۲) ۲۰ ۳) ۳۰ ۴) ۶۰

پاسخ: چون فشار داده شده است، بنابراین باید فشار هوا را نیز با فشار مایع جمع کنیم.

$\rho_{آب}=1\,g/cm^3=1000\,kg/m^3$

$P=\rho gh+P_0 \Rightarrow 3\times10^5=(1000\times10\times h)+10^5 \Rightarrow 2\times10^5=10^4 h \Rightarrow h=20m \Rightarrow$ گزینهٔ (۲) درست است.

تست: درون دو ظرف آب ریخته‌ایم. به طوری‌که درون ظرف (۱) ارتفاع آب ۲ برابر ارتفاع آب در ظرف (۲) است. فشار در ته ظرف (۱) نسبت به ظرف (۲) چگونه است؟

۱) دو برابر است. ۲) بیش‌تر است ولی کم‌تر از دو برابر P_2

۳) برابر است. ۴) بیش از دو برابر است.

پاسخ: اگر عمق آب در ظرف (۲) را h بنامیم، عمق آب در ظرف (۱)، $2h$ است. بنابراین می‌توان نوشت:

$$\frac{P_1}{P_2}=\frac{\rho g(2h)+P_0}{\rho gh+P_0}=1+\frac{\rho gh}{\rho gh+P_0}$$

از آن‌جایی که $\frac{\rho gh}{\rho gh+P_0}$ عدد مثبت کوچک‌تر از یک است، بنابراین می‌توان گفت که $P_2<P_1<2P_2$ است و گزینهٔ (۲) درست است.

یعنی اگه عمق تو یه مایع دو برابر بشه، فشار دو برابر نمی‌شه! البته فشار مایع دو برابر می‌شه ولی فشار کل دو برابر نمی‌شه!

نکته در کنار آب‌های آزاد، فشار هوا یک اتمسفر (atm) نامگذاری شده است. این فشار تقریباً 10^5 پاسکال است.

نکتهٔ STP می‌توان نشان داد که تقریباً هر ۱۰ متر آب فشاری معادل یک اتمسفر دارد.

تست: در عمق چند متری آب، فشار ۴ اتمسفر است؟ ($P_0=1atm$ ، $\rho=1\,g/cm^3$ ، $g=10\,N/kg$)

۱) ۳ ۲) ۳۰ ۳) ۴ ۴) ۴۰

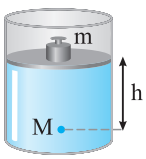
پاسخ: **روش STP:** با توجه به صورت سؤال و این‌که فشار هوا یک اتمسفر است، بنابراین فشار آب باید سه اتمسفر باشد. از طرفی هر ۱۰ متر آب فشاری معادل یک اتمسفر دارد. بنابراین عمق آب ۳۰ متر و گزینهٔ (۲) درست است.

روش عادی: $P=\rho gh+P_0 \xrightarrow{P=4P_0} 4P_0=\rho gh+P_0 \Rightarrow \rho gh=3P_0 \Rightarrow (1000)(10)h=3\times10^5 \Rightarrow h=30m$

ب ـ ۳) فشار کل

اگر درون یک استوانه، مایعی با چگالی ρ زیر پیستونی به مساحت A باشد، به طوری‌که جرم پیستون و وزنهٔ روی آن m باشد، فشار در نقطهٔ M برابر با مجموع فشارهای حاصل از عوامل بالادست می‌باشد:

یکاها باید بر حسب SI باشند.



$$P_M=P_0+\frac{mg}{A}+\rho gh$$

تست: درون سیلندری با سطح مقطع $400\,cm^2$ تا ارتفاع $20\,cm$ روغن با چگالی $0/9\,g/cm^3$ ریخته شده است. روی روغن پیستونی به جرم $1kg$ و روی پیستون وزنه‌ای به جرم $9kg$ قرار داده شده است. اگر فشار هوا $100kPa$ باشد، فشار در کف ظرف چند کیلوپاسکال است؟ ($g=10\,N/kg$)

۱) ۴/۳ ۲) ۴۳۰ ۳) ۱۰/۴ ۴) ۱۰۴/۳

پاسخ:

$$P=P_0+\frac{mg}{A}+\rho gh=1\times10^5+\frac{(1+9)(10)}{400\times10^{-4}}+(900)(10)(0/2)$$

$=1\times10^5+2/5\times10^3+1/8\times10^3=104/3\times10^3\,Pa=104/3\,kPa \Rightarrow$ گزینهٔ (۴) درست است.

ب ـ ۴) اختلاف فشار بین دو نقطهٔ یک شاره

اگر اختلاف فشار دو نقطه درون مایع پرسیده شود، بدون توجه به فشار در سطح مایع، اختلاف فشار آن دو نقطه، فقط به اختلاف ارتفاع آن دو نقطه نسبت به هم بستگی دارد و به‌صورت مقابل محاسبه می‌شود:

$$\Delta P=\rho g\Delta h$$

تست: اختلاف فشار دو نقطه درون آب در عمق‌های ۲۰cm و ۶۰cm چند پاسکال است؟ (فشار هوا 10^5 پاسکال، $g = 10\,N/kg$ و چگالی آب $1000\,kg/m^3$ است.)

۱) ۴۰۰۰ ۲) ۶۰۰۰ ۳) ۱۰۶۰۰۰ ۴) ۱۰۴۰۰۰

پاسخ: گزینهٔ (۱) درست است. $\Delta P = \rho g \Delta h = (1000)(10)(0/4) = 4000\,Pa$

نکتهٔ STP اگر مایعی با شتاب a در راستای قائم حرکت کند، فشار ناشی از مایع در عمق h از رابطهٔ $P = \rho(g \pm a)h$ به‌دست می‌آید.

در هنگام بالا رفتن $(g + a)$ و در هنگام پایین آمدن $(g - a)$ می‌باشد و اگر حرکت تندشونده باشد، علامت شتاب مثبت و اگر حرکت کندشونده باشد، علامت شتاب منفی است.

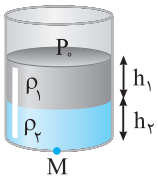
تست: درون ظرفی، آب با چگالی $1\times10^3\,kg/m^3$ قرار دارد، ظرف را با شتاب ثابت $2\,m/s^2$ و حرکت کندشونده به سمت پایین حرکت می‌دهیم. فشار ناشی از آب در عمق ۲۰cm چند پاسکال است؟ $(g = 10\,N/kg)$

۱) 8×10^3 ۲) $1/2\times10^3$ ۳) $1/6\times10^3$ ۴) $2/4\times10^3$

پاسخ: حرکت کندشونده است، بنابراین $a = -2\,m/s^2$ است و از رابطهٔ زیر باید استفاده شود:

$P = \rho(g - a)h = 1\times10^3(10 - (-2))\times0/2 = 2/4\times10^3\,Pa \Rightarrow$ گزینهٔ (۴) درست است.

ب ـ ۵) فشار ناشی از چند مایع



اگر چند مایع مخلوط‌نشدنی را روی یکدیگر بریزید، پس از تعادل مایع‌ها، فشار در هر نقطه برابر با مجموع فشارهای بالای نقطهٔ مورد نظر است:

$$P_M = P_0 + \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2$$

تست: درون ظرفی دو مایع مخلوط‌نشدنی به چگالی‌های $2\,g/cm^3$ و $3\,g/cm^3$ با ارتفاع‌های یکسان ریخته‌ایم. اگر ارتفاع هر کدام ۵۰cm باشد، فشار در ته ظرف چند پاسکال است؟ $(g = 10\,N/kg\ ,\ P_0 = 10^5\,Pa)$

۱) $1/25\times10^5$ ۲) $1/115\times10^5$ ۳) $2/5\times10^4$ ۴) $3/5\times10^5$

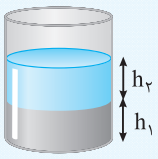
پاسخ: $P = \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2 + P_0 \Rightarrow P = (2000\times10\times0/5) + (3000\times10\times0/5) + 10^5$

$\Rightarrow P = 10000 + 15000 + 100000 = 125000\,Pa = 1/25\times10^5\,Pa \Rightarrow$ گزینهٔ (۱) درست است.

تست: درون ظرفی استوانه‌ای شکل به جرم یکسان آب و نفت ریخته‌ایم. مجموع ارتفاع دو مایع مخلوط نشدنی ۳۶cm است. فشار ناشی از مایع‌ها در کف ظرف چند کیلوپاسکال است؟ $(\rho_{آب} = 1\,g/cm^3\ ,\ \rho_{نفت} = 0/8\,g/cm^3\ ,\ g = 10\,N/kg)$

۱) ۱/۶ ۲) ۳/۲ ۳) ۴/۸ ۴) ۶/۴

پاسخ: **روش اول:** چگالی آب بیش‌تر می‌باشد، بنابراین پایین قرار می‌گیرد. ارتفاع مایع‌ها را h_1 و h_2 می‌نامیم:



$$m_1 = m_2 \xrightarrow{m=\rho V,\ V=Ah} \rho_1 \cancel{A} h_1 = \rho_2 \cancel{A} h_2 \Rightarrow 1\times h_1 = 0/8\times h_2 \Rightarrow h_1 = 0/8 h_2$$

$$\begin{cases} h_1 = 0/8 h_2 \\ h_1 + h_2 = 36\,cm \end{cases} \Rightarrow h_2 = 20\,cm\ ,\ h_1 = 16\,cm$$

فشار ناشی از مایع برابر $\rho g h$ است:

$P = \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2 = [(1\times10^3)(10)(0/16)] + [(8\times10^2)(10)(0/2)]$

$= 1/6\times10^3 + 1/6\times10^3 = 3/2\times10^3\,Pa = 3/2\,kPa \Rightarrow$ گزینهٔ (۲) درست است.

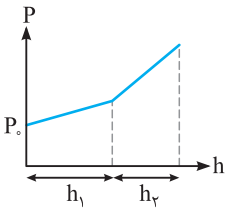
توجه به دلیل یکسان بودن جرم آب و نفت و استوانه‌ای بودن ظرف، فشار ناشی از آب و نفت یکسان می‌باشد.

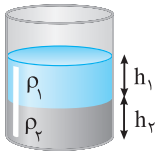
روش دوم: می‌توانیم چگالی مخلوط دو مایع را به‌دست آوریم و دو مایع را یک مایع در نظر بگیریم:

$$\rho_{مخلوط} = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2} \xrightarrow{m_1 = m_2 = m,\ V = \frac{m}{\rho}} \rho_{مخلوط} = \frac{2m}{\frac{m}{\rho_1} + \frac{m}{\rho_2}} = \frac{2}{\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2}} = \frac{2}{\frac{1}{1} + \frac{1}{0/8}} \Rightarrow \rho_{مخلوط} = \frac{2}{\frac{1/8}{0/8}} = \frac{1/6}{1/8} = \frac{16}{18} = \frac{8}{9}\,g/cm^3$$

$$P = \rho g h = (\tfrac{8}{9}\times10^3)(10)(0/36) = 3200 = 3/2\times10^3\,Pa = 3/2\,kPa$$

ب ـ ۶) بررسی نمودار فشار مایع‌ها بر حسب عمق

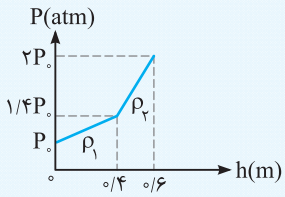




فشار در سطح مایع برابر P_0 است و هر چه در مایع پایین‌تر برویم، فشار افزایش می‌یابد. نمودار فشار بر حسب فاصله از سطح آزاد مایع به‌صورت روبه‌رو است:

شیب نمودار برابر ρg است. چگالی مایع پایینی بیش‌تر است، بنابراین شیب آن نیز بیش‌تر است.

تست: نمودار فشار بر حسب عمق مایع مطابق شکل مقابل است. نسبت چگالی مایع‌ها $(\frac{\rho_2}{\rho_1})$ کدام است؟



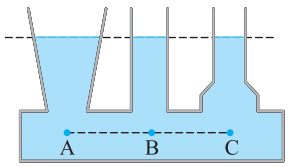
۱) ۱
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۴

پاسخ: فشار حاصل از مایع اول $0/4P_0$ و مایع دوم $0/6P_0$ است.

$$P=\rho gh \Rightarrow \frac{P_2}{P_1}=\frac{\rho_2 gh_2}{\rho_1 gh_1} \Rightarrow \frac{0/6}{0/4}=\frac{\rho_2 \times 0/2}{\rho_1 \times 0/4} \Rightarrow \frac{6}{4}=\frac{\rho_2}{\rho_1}\times\frac{2}{4} \Rightarrow \frac{\rho_2}{\rho_1}=3 \Rightarrow$$ گزینهٔ (۳) درست است.

البته با بررسی شیب‌ها نیز می‌توانید این سؤال را حل کنید.

ب ـ ۷) فشار در نقاط هم‌تراز یک مایع

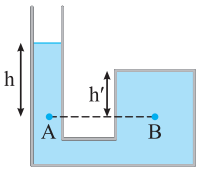


اگر چند ظرف مختلف را مطابق شکل به یکدیگر متصل کنید و یک نوع مایع را داخل این ظرف‌ها بریزید، ارتفاع سطح مایع داخل همهٔ آن‌ها یکسان می‌شود و به شکل ظرف‌ها بستگی ندارد.

اگر نقاط A، B و C را در یک تراز زیر ظرف‌های حاوی مایعِ در حال تعادل در نظر بگیرید، به دلیل سکون مایع‌ها، فشار نقاط A، B و C با هم برابر هستند. زیرا اگر فشارها یکسان نبودند، مایع از نقطهٔ پرفشار به نقطهٔ کم‌فشار حرکت می‌کرد. ارتفاع مایع بالای نقاط را به ترتیب h_A، h_B و h_C در نظر می‌گیریم.

$$\left.\begin{array}{l}P_A=P_0+\rho gh_A\\P_B=P_0+\rho gh_B\\P_C=P_0+\rho gh_C\end{array}\right\} \xrightarrow[\text{یکسان: } P_0]{P_A=P_B=P_C} \rho gh_A=\rho gh_B=\rho gh_C \Rightarrow h_A=h_B=h_C$$

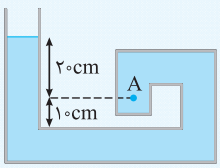
نتیجه در ظرف‌های متصل به هم که حاوی یک نوع مایع می‌باشند، فشار در نقاط هم‌تراز یکسان است.



نکته در شکل روبه‌رو در نقاطی مانند B که مایع بالای آن‌ها با سطح آزاد در ارتباط نیستند، از نقاط هم‌تراز (مانند A) که مایع بالای آن‌ها با سطح آزاد در تماس است، استفاده کنید. (h' اهمیت ندارد.)

$$P_B=P_A=P_0+\rho gh$$

تست: درون ظرف مقابل با مایعی به چگالی $1/2\,g/cm^3$ پر شده است. فشار ناشی از مایع در نقطهٔ A چند پاسکال است؟ $(g=10\,N/kg)$

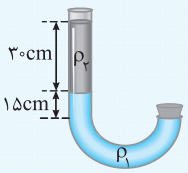


۱) $1/2\times10^3$
۲) $2/4\times10^3$
۳) $3/6\times10^3$
۴) $4/8\times10^3$

پاسخ: فشار ناشی از مایع از رابطهٔ $P=\rho gh$ به‌دست می‌آید که h فاصله از سطح آزاد مایع است، بنابراین $h=20\,cm$ است.

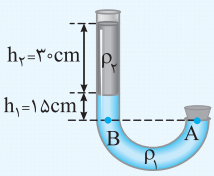
$$P=\rho gh=(1/2\times10^3)(10)(0/20)=2/4\times10^3\,Pa \Rightarrow$$ گزینهٔ (۲) درست است.

تست: انتهای لوله‌ای را بسته و مطابق شکل دو مایع مخلوط‌نشدنی را درون لوله می‌ریزیم. فشار ناشی از مایع‌ها، زیر درپوش چند پاسکال است؟ $(g=10\,N/kg,\ \rho_2=2\,g/cm^3,\ \rho_1=4\,g/cm^3)$



۱) 6×10^3
۲) ۶
۳) 12×10^3
۴) ۱۲

پاسخ: فشار در نقاط A و B یکسان است:



$$P_A=P_B \Rightarrow P_A=\rho_2 gh_2+\rho_1 gh_1$$
$$\Rightarrow P_A=(2\times10^3)(10)(0/3)+(4\times10^3)(10)(0/15)$$
$$=6\times10^3+6\times10^3=12\times10^3\,Pa \Rightarrow$$ گزینهٔ (۳) درست است.

پ) نیروی حاصل از فشار شاره

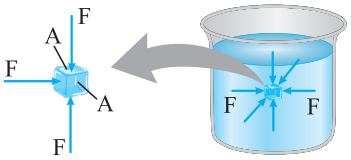
در این بخش اندازهٔ نیروی حاصل از شاره و مقایسهٔ این نیرو با نیروی وزن مایع مورد بررسی قرار می‌گیرد.

پ ـ ۱) اندازهٔ نیروی حاصل از فشار شاره

هرگاه سطحی درون مایع ساکنی قرار داشته باشد، از طرف مایع نیرویی به این سطح وارد می‌شود که دارای ویژگی‌های زیر است:

۱) این نیرو بدون توجه به جهت‌گیری سطح، عمود بر این سطح است.

۲) اندازهٔ این نیرو به‌صورت مقابل به‌دست می‌آید:



$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow \rho gh = \frac{F}{A} \Rightarrow F = \rho ghA$$

A مساحت سطح مورد نظر و h عمقی است که سطح در آن عمق قرار دارد. توجه کنید این نیرو، نیرویی است که فقط از طرف مایع به سطح مورد نظر وارد شده است.

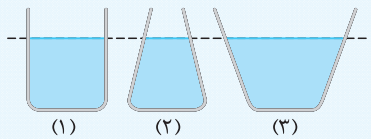
تست: درون یک مکعب شیشه‌ای به ضلع $40\,cm$ یک دوربین فیلم‌برداری قرار داده و آن را تا عمق ۲۰ متری و درون دریاچه‌ای پایین می‌بریم. نیرویی که آب بر هر وجه این مکعب وارد می‌کند، چند نیوتون است؟ (چگالی آب را $1000\,kg/m^3$ و $g = 10\,N/kg$ در نظر بگیرید.)

۱) $3/2 \times 10^4$ ۲) $3/2 \times 10^8$ ۳) 8×10^4 ۴) 8×10^8

پاسخ:

گزینهٔ (۱) درست است. $F = \rho ghA = (1000)(10)(20)(0/4 \times 0/4) = 32000 = 3/2 \times 10^4\,N \Rightarrow$

تست: مطابق شکل تا ارتفاع یکسان درون سه ظرف با مساحت کف یکسان آب ریخته‌ایم. نیروی وارد بر کف ظرف‌ها از طرف آب به ترتیب F_1، F_2 و F_3 است. کدام گزینه درست است؟

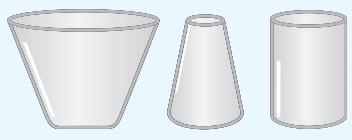


۱) $F_3 > F_2 > F_1$ ۲) $F_3 < F_2 < F_1$

۳) $F_3 = F_2 = F_1$ ۴) $F_2 > F_3 > F_1$

پاسخ: نیرویی که مایع به کف ظرف‌ها وارد می‌کند با رابطهٔ $F = \rho ghA$ به‌دست می‌آید. از آن‌جایی که در هر سه ظرف آب ریخته‌ایم و ارتفاع آب و مساحت کف ظرف‌ها یکسان است، نیرویی که آب به کف هر سه ظرف وارد می‌کند برابر است. بنابراین گزینهٔ (۳) درست است.

تست: درون سه ظرف با مساحت کف یکسان، به جرم یکسان آب ریخته شده است. نیروی وارد بر کف ظرف‌ها از طرف آب را F_1، F_2 و F_3 می‌نامیم. کدام مقایسه درست است؟



۱) $F_3 > F_2 > F_1$ ۲) $F_3 < F_2 < F_1$

۳) $F_3 = F_2 = F_1$ ۴) $F_2 > F_3 > F_1$

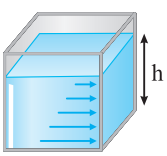
پاسخ: چون جرم آب ظرف‌ها یکسان است پس حجم آن‌ها نیز یکسان است. از طرفی مساحت کف ظرف‌ها یکسان می‌باشد، بنابراین هر چه دیوارهٔ ظرف‌ها بازتر باشند، ارتفاع آب در آن کم‌تر است: $h_1 < h_3 < h_2$

$$F = P \times A = \rho gh \times A \xrightarrow[\text{A : یکسان}]{h_2 > h_3 > h_1} F_2 > F_3 > F_1 \Rightarrow$$

گزینهٔ (۴) درست است.

به دو تا تست قبلی خوب دقت کنید. همون‌طور که می‌بینید، نیروی وارد به کف ظرف‌ها به جرم آب‌های سه ظرف بستگی نداره! پس به چی بستگی داره؟ بله، به ارتفاع آب‌های سه ظرف و مساحت کف ظرف‌ها بستگی داره.

نکته گاهی اوقات لازم است نیرویی که مایع به دیواره‌های ظرف وارد می‌کند را به‌دست آوریم. در این‌صورت، هر چه درون ظرف پایین برویم، فشار و نیروی وارد بر جداره افزایش می‌یابد. فشار به طور منظم افزایش می‌یابد و به همین دلیل فشار میانگین را باید در رابطهٔ نیرو قرار دهیم:



$$F = \frac{1}{2}\rho gh \times A$$

A : مساحت جدارهٔ قائم ظرف است.

تست: استخری مربعی شکل به ضلع ۲۰m تا ارتفاع ۳m با آب پر شده است. نیروی وارد بر هر جداره چند نیوتون است؟
$(g = 10\,N/kg \ , \ \rho = 1\times10^{3}\,kg/m^{3})$

۱) $3/6\times10^{6}$ ۲) 9×10^{5} ۳) 3×10^{4} ۴) $1/5\times10^{4}$

پاسخ: مساحت هر جدارهٔ استخر $20\times3 = 60\,m^{2}$ است:

$$F = \frac{1}{2}(\rho g h)A = \frac{1}{2}(1\times10^{3})(10)(3)(60) \Rightarrow F = 9\times10^{5}\,N$$

بنابراین گزینهٔ (۲) درست است.

نکته اگر درون یک ظرف بسته، مقداری گاز حبس شده باشد، گاز به دیواره‌های ظرف نیرو وارد می‌کند. البته چون ارتفاع ظرف‌ها خیلی زیاد نیست، وزن گاز اهمیت چندانی ندارد و در حالت تعادل فشار گاز در تمام نقاط ظرف یکسان است. در این حالت باز هم می‌توان از روی رابطهٔ $F = P\times A$، نیرویی که گاز به دیوارهٔ داخلی ظرف وارد می‌کند را به‌دست آوریم.

تست: فشار هوای داخل لاستیک اتومبیلی $2/4\times10^{5}\,Pa$ است. اگر مساحت سطح داخلی لاستیک $4000\,cm^{2}$ باشد، نیروی وارد بر سطح داخلی لاستیک چند نیوتون است؟

۱) $9/6\times10^{8}$ ۲) $9/6\times10^{4}$
۳) 6×10^{1} ۴) 6×10^{5}

پاسخ: در رابطهٔ فشار، چون نیرو بر حسب نیوتون و فشار بر حسب پاسکال است، یکای مساحت باید بر حسب m^{2} باشد:

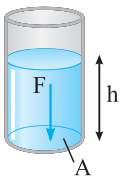
$$F = P\times A = (2/4\times10^{5})(4000\times10^{-4}) = 9/6\times10^{4}\,N \Rightarrow$$ گزینهٔ (۲) درست است.

پ ـ ۲) مقایسهٔ نیروی وارد بر کف ظرف و وزن مایع

آیا همیشه نیرویی که مایع به کف ظرف خود وارد می‌کند برابر وزن مایع است؟ پاسخ منفی است. نیرویی که مایع به کف ظرف خود وارد می‌کند، همیشه برابر وزن مایع نیست. حالا چگونه تشخیص دهیم که نیروی وارد بر کف ظرف از طرف مایع و وزن مایع چه ارتباطی با یکدیگر دارند؟

پاسخ این سؤال به شکل ظرف بستگی دارد:

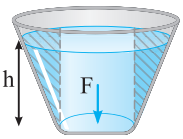
حالت ۱: اگر ظرف متوازی‌السطوح (مثل استوانه یا مکعب) باشد، نیروی وارد بر ته ظرف از طرف مایع برابر وزن مایع است.



$F = W$ (وزن مایع)
(نیروی وارد بر کف ظرف از طرف مایع)

$$F = \rho g h A \xrightarrow{V=hA} F = \rho g V \xrightarrow{m=\rho V} F = mg = W$$

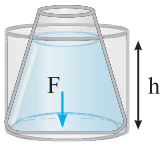
حالت ۲: اگر ظرف متوازی‌السطوح نباشد، استوانه‌ای فرضی را با توجه به مساحت کف ظرف رسم می‌کنیم. اگر حجم مایع درون ظرف از حجم استوانه تا همان ارتفاع h بیشتر باشد، آن‌گاه $F < W_{\text{مایع}}$ است. زیرا:



$$F = PA = \rho g \underbrace{h\times A}_{\text{حجم استوانهٔ فرضی}} = \rho g \times V' = m'g = W_{\text{مایع}} \text{ وزن مایع درون استوانهٔ فرضی} >$$

همان‌طور که در شکل می‌بینید، مایع درون ظرف اصلی از مایع درون استوانهٔ فرضی بیشتر است. بنابراین $F < W_{\text{مایع}}$ است.

حالت ۳: اگر حجم مایع داخل ظرف کم‌تر از حجم استوانهٔ فرضی بود، $F > W_{\text{مایع}}$ است. زیرا:

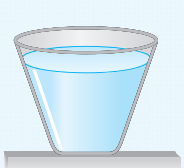


$$F = PA = \rho g \underbrace{h\times A}_{\text{حجم استوانهٔ فرضی}} = \rho g \times V' \xrightarrow{m'=\rho V'} F = m'g > W_{\text{مایع}}$$

$m'g$ وزن مایع در استوانهٔ فرضی است. یعنی نیروی وارد بر کف ظرف در این حالت برابر با وزن مایعی است که درون استوانهٔ فرضی تا ارتفاع h پر شده باشد. واضح است، مایع درون ظرف از این مقدار کم‌تر است؛ پس: $F > W_{\text{مایع}}$

نکته در قسمت قبل نیروی مایع به کف ظرف خودش را بررسی کردیم. هرگاه در سؤال نیرویی که ظرف مایع به سطح افقی که روی آن قرار می‌گیرد، خواسته شده باشد، این نیرو هم‌اندازهٔ مجموع وزن ظرف و وزن مایع است و به شکل ظرف بستگی ندارد.

تست: مطابق شکل در ظرفی با وزن ناچیز، مایعی به وزن W ریخته‌ایم و آن را، روی سطح میز قرار داده‌ایم. نیرویی که مایع به کف ظرف وارد می‌کند را F_1 و نیرویی که ظرف به سطح میز وارد می‌کند را F_2 می‌نامیم. کدام گزینه درست است؟

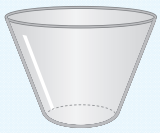
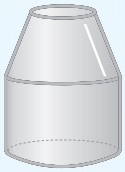
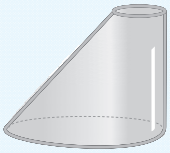


۱) $F_1 = F_2 = W$
۲) $F_1 > W \simeq F_2$
۳) $F_1 < W \simeq F_2$
۴) $F_1 = F_2 < W$

پاسخ: با توجه به مطالب گفته‌شده، نیرویی که مایع به کف ظرف وارد می‌کند (F_1) به شکل ظرف بستگی دارد. اگر مطابق شکل، یک استوانهٔ فرضی به مساحت کف ظرف در نظر بگیریم، وزن مایعی که در این استوانهٔ فرضی جا می‌گیرد، کم‌تر از وزن کل مایع است، بنابراین $F_1 < W$ است. نیروی وارد بر سطح میز برابر وزن مایع و ظرف است و به دلیل ناچیز بودن وزن ظرف، F_2 تقریباً برابر W است. بنابراین گزینهٔ (۳) درست است.

خلاصه اگه خواستید نیروی مایع به کف ظرف خودش رو با وزن مایع مقایسه کنین، شکل ظرف مهمه! اگه نیرویی که به سطح میز از طرف ظرف مایع وارد می‌شه رو خواستن شکل ظرف مهم نیست.

تست: مقداری آب به وزن ۲۰ نیوتون را جداگانه در ظرف‌های مختلف می‌ریزیم. در چند ظرف از ظرف‌های شکل، نیروی وارد بر کف ظرف قطعاً بیش از ۲۰ نیوتون است؟

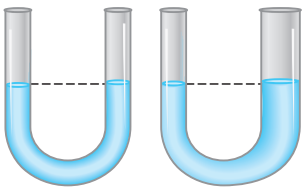
آ)
ب) 
پ) 
ت) 

۱) ۱
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۴

پاسخ: اگر با مساحت کف ظرف در هر چهار شکل، یک استوانهٔ فرضی بسازیم، فقط در حالت‌های (پ) و (ت) این استوانهٔ فرضی بزرگ‌تر از ظرف خواهد شد. ولی چون مشخص نیست آب در شکل (پ) تا کجای ظرف را پر می‌کند، نمی‌توان در مورد شکل (پ) اظهار نظر قطعی کرد. یعنی اگر در این شکل آب تا قبل از تنگ‌شدگی بالای ظرف باشد، نیروی وارد بر کف ظرف ۲۰ نیوتون است. ولی اگر بیش‌تر باشد این نیرو بیش از ۲۰ نیوتون است. به این ترتیب فقط در (ت) می‌توان به قطعیت گفت نیروی وارد بر کف ظرف بیش از ۲۰ نیوتون و گزینهٔ (۱) درست است.

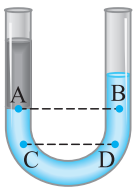
مواظب باشید! اگه تو تست قبل نیروی وارد به سطح افقی‌ای که ظرف‌ها روی اون قرار دارن خواسته شده بود، در صورتی‌که وزن ظرف‌ها ناچیز باشه، برای هر چهار ظرف، این نیرو ۲۰ نیوتون میشه.

ت) لوله‌های U شکل



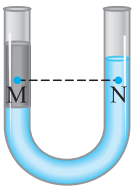
لولهٔ U شکل مانند دو ظرف به هم متصل‌شده است، بنابراین به نکات زیر توجه کنید:

۱) اگر یک نوع مایع داخل لوله ریخته شود، بدون در نظر گرفتن قطر لوله‌های دو طرف، سطح مایع در آن‌ها در یک تراز قرار می‌گیرد.



۲) اگر دو یا چند مایع متفاوت و مخلوط نشدنی، داخل لوله‌ها ریخته شود، نقاط هم‌تراز داخل یک نوع مایع، هم‌فشار هستند.

$$P_A = P_B$$
$$P_C = P_D$$

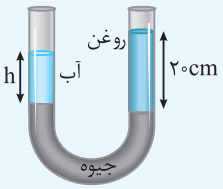


۳) نقاط هم‌تراز داخل دو مایع متفاوت هم‌فشار نیستند.

$$P_M \neq P_N$$

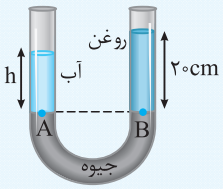
نکته هرگاه در لولهٔ U شکل، بالای هر دو لوله باز باشد، فشار هوا تأثیری در نحوهٔ قرار گرفتن مایع‌ها ندارد.

تست: درون لولهٔ U شکلی مقداری جیوه وجود دارد. در یکی از شاخه‌ها تا ارتفاع ۲۰cm روغن با چگالی $0/9\,g/cm^3$ می‌ریزیم. در شاخهٔ دیگر تا چه ارتفاعی آب با چگالی $1\times10^3\,kg/m^3$ اضافه کنیم تا سطح جیوه در دو لوله یکسان شود؟



۱) ۹cm
۲) ۱۸cm
۳) ۲۰cm
۴) ۲۲cm

پاسخ: نقاط مشخص‌شده هم‌تراز و داخل جیوه انتخاب شده است:



$$P_{\text{آب}} = P_{\text{روغن}} \Rightarrow \cancel{P_0} + (\rho gh)_{\text{آب}} = \cancel{P_0} + (\rho gh)_{\text{روغن}} \Rightarrow (\rho h)_{\text{آب}} = (\rho h)_{\text{روغن}}$$

$$\Rightarrow (1\times10^3)\times h_{\text{آب}} = (900)(20) \Rightarrow h_{\text{آب}} = 18\,cm \Rightarrow$$

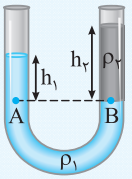
گزینهٔ (۲) درست است.

نکته در رابطهٔ $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$ لزومی ندارد یکاها بر حسب یکاهای SI باشند و فقط کافی است که یکاها در طرفین، یکسان باشند.

تست: درون لولهٔ U شکلی، مقداری مایع با چگالی $4\,g/cm^3$ ریخته شده است. مایعی به حجم $48\,cm^3$ و چگالی $1/2\,g/cm^3$ در یکی از شاخه‌ها ریخته می‌شود. اگر سطح مقطع لوله برابر $1/6\,cm^2$ باشد، پس از تعادل، اختلاف ارتفاع مایع اول در شاخه‌ها چند سانتی‌متر می‌شود؟

۱) ۶
۲) ۹
۳) ۳۰
۴) ۴۸

پاسخ: شکل مایع‌ها به‌صورت روبه‌رو خواهد شد، ارتفاع مایع دوم را به‌دست می‌آوریم:



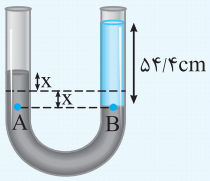
$$V = Ah_2 \Rightarrow 48 = 1/6\times h_2 \Rightarrow h_2 = 30\,cm$$

$$P_A = P_B \Rightarrow \rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2 \Rightarrow (4)\times h_1 = (1/2)(30) \Rightarrow h_1 = 9\,cm \Rightarrow$$

گزینهٔ (۲) درست است.

تست: درون لولهٔ U شکل یکنواختی مقداری جیوه با چگالی $13/6\,g/cm^3$ ریخته شده است. اگر در یکی از شاخه‌ها به ارتفاع $54/4\,cm$ آب ریخته شود، سطح جیوه در شاخهٔ دیگر نسبت به حالت قبل چند سانتی‌متر بالا می‌رود؟ ($\rho_{\text{آب}} = 1\,g/cm^3$)

۱) ۲
۲) ۴
۳) ۸
۴) ۲۷/۲

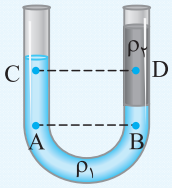


پاسخ: اگر جیوه در یکی از شاخه‌ها به اندازهٔ x پایین بیاید، در شاخهٔ دیگر به اندازهٔ x بالا می‌رود. بنابراین اختلاف جیوه در دو شاخهٔ لولهٔ U شکل برابر 2x است. ولی جابه‌جایی سطح جیوه نسبت به حالت اولیه برابر x است:

$$P_A = P_B \Rightarrow \rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2 \Rightarrow (13/6)\times 2x = (1)(54/4) \Rightarrow x = 2\,cm \Rightarrow$$

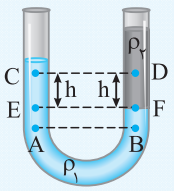
گزینهٔ (۱) درست است.

تست: در شکل روبه‌رو، مایع‌ها در تعادل هستند. کدام رابطه، بین فشار در نقاط شکل داده‌شده برقرار است؟



۱) $P_A = P_B > P_D > P_C$
۲) $P_A > P_B > P_D > P_C$
۳) $P_A = P_B > P_C > P_D$
۴) $P_B > P_A > P_C > P_D$

پاسخ: نقاط A و B دو نقطهٔ هم‌تراز درون یک مایع هستند. بنابراین $P_A = P_B$ است.

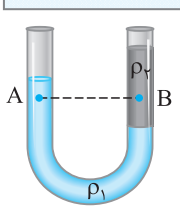


چون مایع ρ_1 پایین‌تر قرار دارد، بنابراین چگالی آن بیش‌تر از ρ_2 است. از طرفی فشار نقاط E و F نیز برابر است. بنابراین:

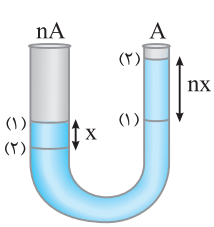
$$P_E = P_F \Rightarrow \rho_1 gh + P_C = \rho_2 gh + P_D$$

چون $\rho_1 > \rho_2$ است، برای برقراری تساوی بالا باید فشار نقطهٔ D از فشار نقطهٔ C بیش‌تر باشد یعنی $P_D > P_C$ است. بنابراین گزینهٔ (۱) درست است.

نتیجه وقتی در یک لولهٔ U شکل دو مایع مخلوط‌نشدنی مطابق شکل در حالت تعادل باشند و دو نقطهٔ هم‌تراز یکی در مایع ρ_1 و دیگری در مایع ρ_2 انتخاب کنیم، فشار در نقطه‌ای بیش‌تر است که در مایع با چگالی کم‌تر قرار دارد. با توجه به شکل چون $\rho_2 < \rho_1$ است پس $P_B > P_A$ است.



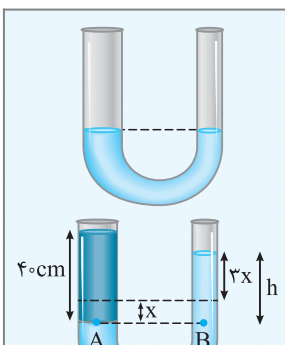
نکته اگر سطح مقطع لولهٔ U شکل یکسان نباشد و مساحت یکی از شاخه‌ها، n برابر دیگری باشد و ارتفاع مایع در لولهٔ بزرگ‌تر به اندازهٔ x جابه‌جا شود در لولهٔ باریک‌تر به اندازهٔ nx جابه‌جا می‌شود.



تست: درون لولهٔ U شکل، مقداری آب ریخته شده است. اگر در شاخهٔ بزرگ‌تر، روغن تا ارتفاع ۴۰cm ریخته شود. سطح آب در لولهٔ نازک نسبت به حالت اول چند سانتی‌متر بالا می‌رود؟ (مساحت قسمت بزرگ سه برابر قسمت نازک است و $\rho_{\text{آب}} = 1\,g/cm^3$ ، $\rho_{\text{روغن}} = 0/9\,g/cm^3$)

۱) ۹ ۲) ۱۸

۳) ۲۷ ۴) ۳۶



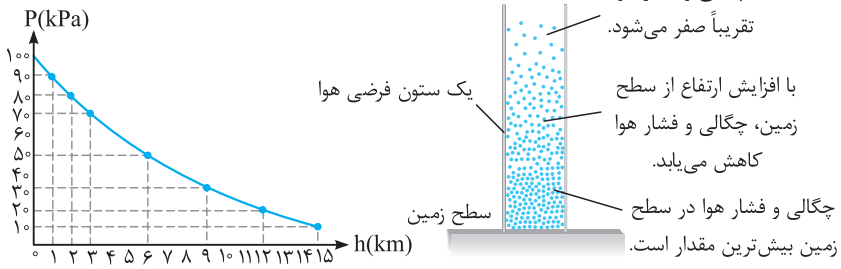
پاسخ: اگر آب در قسمت ضخیم به اندازهٔ x پایین بیاید، در قسمت نازک به اندازهٔ ۳x بالا می‌رود.

$$P_A = P_B \Rightarrow (\rho gh)_{\text{روغن}} = (\rho gh)_{\text{آب}} \Rightarrow (0/9)(40) = (1) \times h$$

$$\xrightarrow{h=4x} 4x = 36 \Rightarrow x = 9\,cm \Rightarrow 3x = 27\,cm \Rightarrow$$ گزینهٔ (۳) درست است.

ث) رابطهٔ فشار هوا و ارتفاع

در اختلاف ارتفاع‌های کم، اختلاف فشار دو نقطه از گازی مانند هوا از رابطهٔ $\Delta P = \rho g \Delta h$ قابل محاسبه است، ولی اگر اختلاف ارتفاع h قابل توجه باشد، نمی‌توان از رابطهٔ بالا استفاده کرد زیرا چگالی هوا ثابت نیست. نیروی جاذبهٔ زمین سبب می‌شود که لایه‌های زیرین هوا نسبت به لایه‌های بالایی متراکم‌تر شوند و چگالی در ارتفاع‌های بالا به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. تغییرات فشار هوا بر حسب ارتفاع، مطابق شکل زیر است:



تست: در دمای $20^\circ C$، اختلاف فشار هوای بالا و پایین یک برج ۱۰۰ متری چند کیلوپاسکال است؟ (چگالی متوسط هوا را $1/1\,kg/m^3$ و $g = 10\,N/kg$ در نظر بگیرید.)

۱) ۱/۱ ۲) ۱۱ ۳) $1/1 \times 10^3$ ۴) 11×10^3

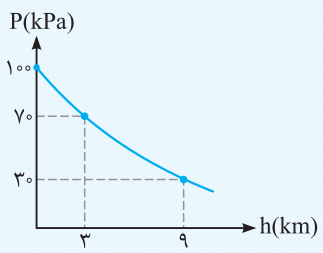
پاسخ: $\Delta P = \rho g \Delta h = (1/1)(10)(100) = 1/1 \times 10^3\,Pa = 1/1\,kPa \Rightarrow$ گزینهٔ (۱) درست است.

تست: دو فشارسنج در بالا و پایین برجی نصب شده‌اند. فشار در بالا و پایین برج به ترتیب ۹۵kPa و ۹۵/۵kPa می‌باشد. اگر چگالی هوا $1kg/m^3$ باشد، ارتفاع برج چند متر است؟ ($g = 10\,N/kg$)

۱) ۲۵ ۲) ۴۵ ۳) ۵۰ ۴) ۱۵۰

پاسخ: $P_2 = P_1 + \rho gh \Rightarrow 95/5 \times 10^3 = 95 \times 10^3 + (1)(10) \times h \Rightarrow 0/5 \times 10^3 = 10 \times h \Rightarrow h = 50\,m \Rightarrow$ گزینهٔ (۳) درست است.

تست: با توجه به نمودار فشار بر حسب ارتفاع از سطح آزاد دریاها که در شکل مقابل آمده است، چگالی متوسط هوا در بین ارتفاع‌های ۳ تا ۹ کیلومتر چند کیلوگرم بر متر مکعب است؟ ($g = 10\,N/kg$)



۱) $\frac{1}{3}$ ۲) $\frac{2}{3}$

۳) $\frac{3}{2}$ ۴) $\frac{4}{3}$

پاسخ: $\Delta P = \rho g \Delta h \Rightarrow (70 - 30) \times 10^3 = \rho \times 10 \times 6 \times 10^3 \Rightarrow \rho = \frac{4}{6} = \frac{2}{3}\,kg/m^3 \Rightarrow$ گزینهٔ (۲) درست است.

اکنون می‌توانید به تست‌های این قسمت در جلد تست پاسخ دهید.

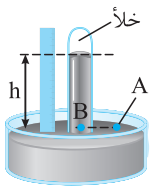
فصل ۲ ویژگی‌های فیزیکی مواد

قسمت سوم: فشارسنج‌ها

این قسمت شامل بخش‌های زیر است:

آ) جوسنج (بارومتر) ← ب) مانومتر ← پ) گاز زیر پیستون و فشارسنج بوردون

آ) جوسنج (بارومتر)



اگر مطابق شکل یک لولهٔ آزمایش بلند را پر از جیوه کرده و سپس دهانهٔ آن را با انگشت بگیرید و به طور بر عکس درون ظرف حاوی جیوه قرار دهید، سطح جیوه در لوله پایین آمده و ثابت می‌شود. در این حالت می‌گوییم فشار هوا معادل ارتفاع h از جیوه است. این وسیلهٔ ساده جوسنج نامیده می‌شود و اولین بار توسط توریچلی اختراع شد.

نکته ۱) اگر ارتفاع مایع درون لولهٔ آزمایش و جنس مایع را بیان کنید در حقیقت فشار هوا را بر حسب ستون مایع بیان کرده‌اید. مانند $P_0 = ۷۶\,cmHg$

۲) اگر درون ظرفی تا ارتفاع h مایعی باشد، می‌توانید ارتفاع و جنس مایع را به عنوان فشار بیان کنید. به عنوان مثال اگر داخل استخری به ارتفاع $۲m$ آب باشد، فشار ناشی از آب در کف استخر برابر «۲ متر آب» است.

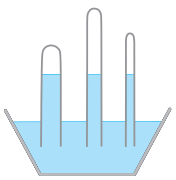
تست: ارتفاع ستون جیوه در جوسنجی برابر $۵۰\,cm$ است. فشار هوا در منطقهٔ مورد نظر چند کیلوپاسکال است؟

$(g = ۱۰\,N/kg \;،\; \rho_{جیوه} = ۱/۳۶ \times ۱۰^۴\,kg/m^۳)$

۱) ۶/۸ ۲) ۶۸ ۳) ۳/۴ ۴) ۳۴

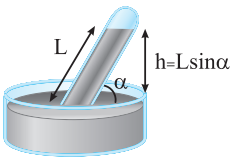
پاسخ: ارتفاع جیوهٔ داخل لوله برابر $۵۰\,cm$ است، بنابراین $P_0 = ۵۰\,cmHg$

$P_0 = \rho gh = (۱/۳۶ \times ۱۰^۴)(۱۰)(۰/۵) = ۶۸۰۰۰\,Pa = ۶۸\,kPa \Rightarrow$ گزینهٔ (۲) درست است.



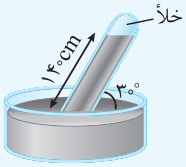
نکته آزمایش توریچلی، مطابق شکل با سه لوله آزمایش مختلف، هم‌زمان انجام شده است.

همان‌طور که می‌بینید سطح مقطع و طول لوله‌های آزمایش متفاوت است. ولی جیوه تا ارتفاع یکسان بالا آمده است. بنابراین سطح مقطع و طول لولهٔ آزمایش تأثیری بر آزمایش ندارد. توجه کنید که طول قسمتی از لولهٔ آزمایش که بیرون جیوهٔ داخل ظرف قرار می‌گیرد باید به اندازه‌ای باشد که در بالای لولهٔ آزمایش فضای خالی باقی بماند.



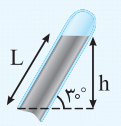
نکته اگر لولهٔ آزمایشی را کج کنید، باید ارتفاع قائم جیوه از سطح جیوهٔ داخل ظرف را اندازه‌گیری کنید.

تست: در آزمایش توریچلی مقابل، فشار هوا چند سانتی‌متر جیوه $(cmHg)$ است؟



۱) ۶ ۲) ۶۰
۳) ۷۰ ۴) ۱۴۰

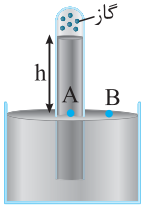
پاسخ: ارتفاع قائم جیوه از سطح جیوهٔ داخل ظرف را به‌دست می‌آوریم:



$$\sin ۳۰^\circ = \frac{h}{L} \Rightarrow h = \frac{۱}{۲} \times (۱۴۰) = ۷۰\,cm$$

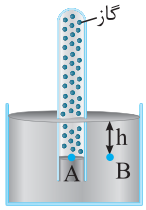
$P_0 = ۷۰\,cmHg \Rightarrow$ گزینهٔ (۳) درست است.

نکته اگر مطابق شکل روبه‌رو درون لولهٔ جوسنج، گاز یا هوا حبس شود، می‌توان فشار آن را به‌صورت زیر محاسبه کرد:



حالت اول:

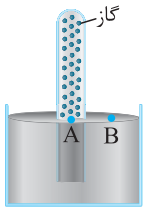
$$P_A = P_B \Rightarrow \underbrace{P_h}_{\text{فشار ناشی از اختلاف سطح مایع}} + P_{\text{گاز}} = P_\circ \Rightarrow \boxed{P_{\text{گاز}} = P_\circ - P_h}$$



حالت دوم:

$$P_A = P_B \Rightarrow \boxed{P_{\text{گاز}} = \underbrace{P_h}_{\text{فشار ناشی از اختلاف سطح مایع}} + P_\circ}$$

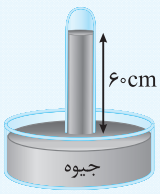
توجه کنید که اگر فشار گاز بر حسب پاسکال مورد سؤال باشد $P_h = \rho gh$ است و اگر فشار گاز بر حسب سانتی‌متر یا میلی‌متر جیوه مورد سؤال باشد، P_h را بر حسب سانتی‌متر یا میلی‌متر جیوه پیدا می‌کنیم و در رابطه قرار می‌دهیم.



حالت سوم:

$$P_A = P_B \Rightarrow \boxed{P_{\text{گاز}} = P_\circ}$$

تست: فشار هوا در منطقه‌ای ۷۵cmHg است. فشار هوای محبوس در بالای لوله چند سانتی‌متر جیوه است؟



۱) ۶۰ ۲) ۷۵ ۳) ۱۵ ۴) ۱۳۵

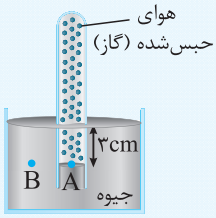
پاسخ:

گزینهٔ (۳) درست است. $P_{\text{گاز محبوس}} = ۱۵\text{cmHg} \Rightarrow P_\circ = P_{\text{گاز محبوس}} + P_h \Rightarrow ۷۵ = P_{\text{گاز محبوس}} + ۶۰$

تست: لولهٔ انتها بسته‌ای را وارونه در ظرف جیوه فرو می‌بریم. سطح جیوه در درون لوله ۳ سانتی‌متر پایین‌تر از سطح آزاد جیوه قرار می‌گیرد. اگر فشار هوا ۷۶ سانتی‌متر جیوه باشد، فشار هوای محبوس در لوله چند سانتی‌متر جیوه است؟

۱) ۷۳ ۲) ۷۹ ۳) ۷۴/۵ ۴) ۷۷/۵

پاسخ:



گزینهٔ (۲) درست است. $P_A = P_B \Rightarrow P_{\text{گاز}} = P_h + P_\circ \Rightarrow P_{\text{گاز}} = ۳ + ۷۶ = ۷۹\text{cmHg}$

تبدیل ستون‌های مایع به یکدیگر

برای تبدیل یکای ستون مایع به مایعی دیگر از رابطهٔ روبه‌رو استفاده می‌شود:

$$\rho_۱ h_۱ = \rho_۲ h_۲$$

ρ و h به ترتیب چگالی مایع و ارتفاع ستون مایع می‌باشد.

نکته یکای ρ و h در طرفین باید مشابه یکدیگر باشد و لزومی ندارد یکاها بر حسب SI باشند.

تست: در آزمایش توریچلی، فشار هوا ۷۰cmHg اندازه‌گیری شده است. اگر به جای جیوه از آب استفاده شود، حداقل طول لولهٔ آزمایش مورد نیاز چند سانتی‌متر است؟ ($\rho_{\text{آب}} = ۱\text{g/cm}^۳$ ، $\rho_{\text{جیوه}} = ۱۳/۶\text{g/cm}^۳$)

۱) ۷۰۰ ۲) ۸۶۰ ۳) ۱۳۶۰ ۴) ۹۵۲

پاسخ: فشاری که آب و جیوه نشان می‌دهند باید یکسان باشد:

$$P_{\text{جیوه}} = P_{\text{آب}} \Rightarrow \rho_۱ g h_۱ = \rho_۲ g h_۲ \Rightarrow \rho_۱ h_۱ = \rho_۲ h_۲ \Rightarrow ۱۳/۶ \times ۷۰ = ۱ \times h_۲ \Rightarrow h_۲ = ۹۵۲\text{cm}$$

گزینهٔ (۴) درست است.

تست: مایعی به چگالی $2\,g/cm^3$ تا ارتفاع ۲/۷۲ متر در ظرفی ریخته‌ایم. اگر فشار هوا ۷۶ سانتی‌متر جیوه و چگالی جیوه $13/6\,g/cm^3$ باشد، فشار وارد بر کف ظرف محتوی مایع بر حسب سانتی‌متر جیوه چقدر است؟

۱) ۱۲۰/۴ ۲) ۱۱۶ ۳) ۹۶ ۴) ۸۰

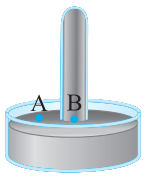
پاسخ: ابتدا فشار حاصل از ستون مایع را بر حسب سانتی‌متر جیوه پیدا می‌کنیم:

$$\rho h = \rho_{Hg} h_{Hg} \Rightarrow (2)(272) = (13/6)h_{Hg} \Rightarrow h_{Hg} = 0/4\,m = 40\,cm$$

یعنی فشار ستون مایع معادل $40\,cmHg$ است.

$P_{کل} = P_{مایع} + P_0 = 40 + 76 = 116\,cmHg \Rightarrow$ گزینهٔ (۲) درست است.

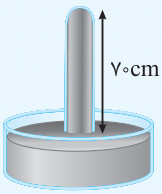
نکته اگر طول لولهٔ آزمایش در فشارسنج کم‌تر از فشار هوا باشد، بالای لولهٔ آزمایش خالی نمی‌ماند و به انتهای لولهٔ آزمایش فشار وارد می‌شود که این فشار مطابق شکل محاسبه می‌شود:



$$P_A = P_B \Rightarrow P_0 = \rho g h_1 + P'$$

P' فشاری است که به انتهای لوله وارد می‌شود.

تست: مطابق شکل، اگر فشار هوا $75\,cmHg$ و سطح لوله $5\,cm^2$ باشد، چه نیرویی بر انتهای لوله وارد خواهد شد؟ $(g = 10\,N/kg\ ,\ \rho_{جیوه} = 13/6\,g/cm^3)$



۱) ۲/۵N ۲) ۵N ۳) ۱/۷N ۴) ۳/۴N

پاسخ: فشار وارد بر ته لوله را P' در نظر می‌گیریم:

$$P_0 = P_{مایع} + P' \Rightarrow 75 = 70 + P' \Rightarrow P' = 5\,cmHg$$

برای این‌که بتوانیم نیروی حاصل از این فشار را پیدا کنیم، باید این فشار را بر حسب پاسکال داشته باشیم:

$$P' = \rho_{Hg} g h_{Hg} \Rightarrow P' = (13/6 \times 10^3)(10)(5 \times 10^{-2}) = 6/8 \times 10^3\,Pa$$

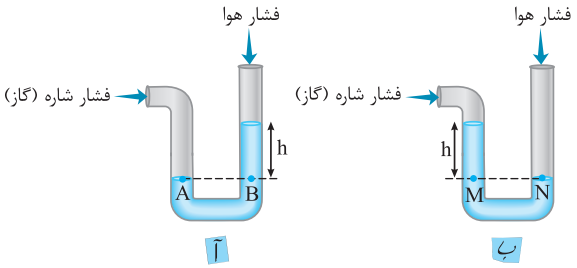
$$P' = \frac{F}{A} \Rightarrow F = P'A = (6/8 \times 10^3)(5 \times 10^{-4}) = 3/4\,N \Rightarrow$$ گزینهٔ (۴) درست است.

ب) مانومتر

از این فشارسنج برای محاسبهٔ فشار یک شارهٔ محصور استفاده می‌شود. اگر لولهٔ U شکل حاوی مایع را به ظرف حاوی گاز متصل کنید، دو حالت رخ می‌دهد:

آ) فشار گاز بیش‌تر از فشار هوا

ب) فشار گاز کم‌تر از فشار هوا

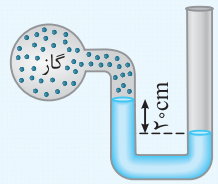


در هر دو حالت می‌توان با استفاده از نقاط هم‌تراز، فشار گاز محصور را به‌دست آورد:

شکل (آ) : $P_A = P_B \Rightarrow P_{گاز} = P_0 + P_{ستون\ مایع}$

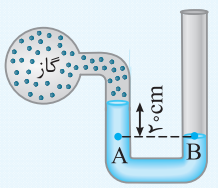
شکل (ب) : $P_M = P_N \Rightarrow P_{گاز} + P_{ستون\ مایع} = P_0$

تست: مطابق شکل، مخزنی حاوی گاز را به مانومتر متصل می‌کنیم. اگر چگالی مایع داخل مانومتر $14\,g/cm^3$ باشد، فشار گاز ..... کیلوپاسکال ..... از فشار هوا است. $(g = 10\,N/kg)$



۱) ۱۴، بیش‌تر ۲) ۲۸، بیش‌تر ۳) ۱۴، کم‌تر ۴) ۲۸، کم‌تر

پاسخ: نقاط هم‌تراز A و B هم‌فشار هستند.



$$P_A = P_B \Rightarrow P_{گاز} + \rho g h = P_0$$

$$\Rightarrow P_{گاز} - P_0 = -\rho g h = -(14 \times 10^3)(10)(0/2) = -28 \times 10^3\,Pa = -28\,kPa$$

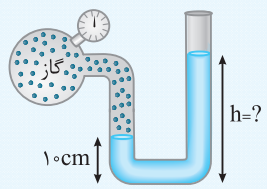
یعنی فشار گاز $28\,kPa$ از فشار هوای محیط کم‌تر است و گزینهٔ (۴) درست است.

نکته به اختلاف فشار گاز و فشار هوا، فشار پیمانه‌ای می‌گویند که با نماد P_g نمایش داده می‌شود و طبق توضیحات قبل این اختلاف ممکن است منفی یا مثبت باشد.

$$P_{\text{گاز}} - P_\circ = P_g \begin{cases} P_{\text{گاز}} > P_\circ \Rightarrow P_g > \circ \\ P_{\text{گاز}} < P_\circ \Rightarrow P_g < \circ \end{cases}$$

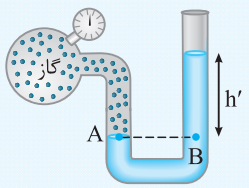
توجه فشارسنج‌های پزشکی و صنعتی فشار پیمانه‌ای را نشان می‌دهند.

تست: در شکل مقابل، چگالی مایع استفاده‌شده $4\,g/cm^3$ است و فشارسنج عدد $8\,kPa$ را نشان می‌دهد. h چند سانتی‌متر است؟ $(g = 10\,N/kg)$



۱) ۱۰ ۲) ۲۰
۳) ۳۰ ۴) ۴۰

پاسخ: نقاط A و B هم‌فشار هستند و فشارسنج، فشار پیمانه‌ای را نشان می‌دهد:



$$P_A = P_B \Rightarrow P = P_\circ + \rho g h' \Rightarrow P - P_\circ = \rho g h'$$
$$\Rightarrow P_g = \rho g h' \Rightarrow 8 \times 10^3 = (4 \times 10^3)(10) \times h'$$
$$\Rightarrow h' = \circ/2m = 20cm \Rightarrow h = h' + 10 \Rightarrow h = 30\,cm \Rightarrow$$ گزینهٔ (۳) درست است.

پ) فشار گاز زیر پیستون و فشارسنج بوردون

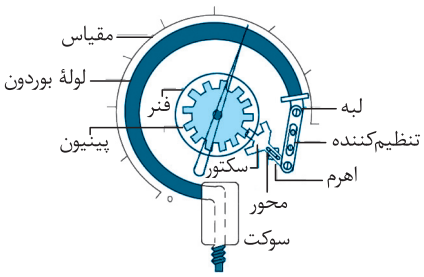
در این بخش ابتدا فشارسنج بوردون و سپس فشار گاز زیر پیستون را بررسی می‌کنیم.

پ ـ ۱) فشارسنج بوردون

این فشارسنج، شامل لوله‌ای خمیده و توخالی است که به ورودی شاره متصل می‌شود. با افزایش فشار داخل لوله، قسمت خمیده تغییر شکل داده و باعث حرکت عقربه می‌شود.

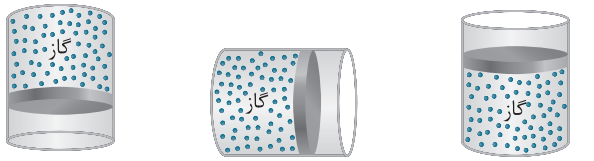
از این فشارسنج برای اندازه‌گیری فشار باد لاستیک وسیله‌های نقلیه و اندازه‌گیری فشار در مخزن‌های گاز استفاده می‌شود.

در اغلب این فشارسنج‌ها از یکای psi برای نشان دادن فشار استفاده می‌کنند. به طوری‌که $1\,psi \simeq 6900\,Pa$ است. (psi به معنای پوند ـ نیرو بر اینچ مربع است.)



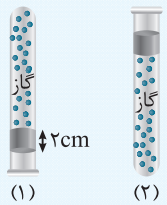
پ ـ ۲) فشار گاز زیر پیستون

اگر زیر پیستون مقداری گاز حبس شده باشد، با توجه به نوع قرار گرفتن ظرف، می‌توانیم فشار گاز را به‌دست آوریم. حالت‌های مختلف مطابق شکل‌های زیر است:



$P_{\text{گاز}} = P_{\text{پیستون}} + P_\circ$ $P_{\text{گاز}} = P_\circ$ $P_\circ = P_{\text{گاز}} + P_{\text{پیستون}}$

تست: مطابق شکل درون یک لولهٔ آزمایش مقداری گاز توسط جیوه حبس شده است. اگر لولهٔ آزمایش را از حالت (۱) به (۲) برگردانیم، فشار گاز ..... سانتی‌متر جیوه زیاد می‌شود.



۱) صفر ۲) ۲
۳) ۳ ۴) ۴

پاسخ: با توجه به مطالب گفته‌شده، اگر در شکل (۱) فشار گاز را P_1 و در شکل (۲) فشار گاز را P_2 بنامیم، می‌توان نوشت:

$$\left.\begin{array}{l} \text{در شکل (۱)}: P_\circ = 2 + P_1 \Rightarrow P_1 = P_\circ - 2 \\ \text{در شکل (۲)}: P_2 = P_\circ + 2 \end{array}\right\} \Rightarrow P_2 - P_1 = (P_\circ + 2) - (P_\circ - 2) = 4\,cmHg \Rightarrow$$ گزینهٔ (۴) درست است.

اکنون می‌توانید به تست‌های این قسمت در جلد تست پاسخ دهید.

فصل ۲ ویژگی‌های فیزیکی مواد

قسمت چهارم: شناوری و شارهٔ در حرکت

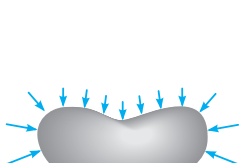
این قسمت شامل بخش‌های زیر است:

آ) شناوری ← ب) آهنگ جریان شاره و معادلهٔ پیوستگی ← پ) اصل برنولی

آ) شناوری

پدیده‌هایی مانند شناور ماندن اجسام سنگین مثل کشتی روی آب و یا سهولت جابه‌جایی اجسام سنگین غوطه‌ور در آب را با مفهومی به نام نیروی ارشمیدس توجیه می‌کنند.

ارشمیدس دانشمند یونانی بیان کرد: به جسم‌های درون یک شاره (مایع و گاز)، همواره نیرویی بالاسو وارد می‌شود.



علت نیروی ارشمیدس: مطابق شکل، نیروی ناشی از فشار شاره، در نقاط پایین‌تر بزرگ‌تر است، بنابراین برایند نیروهایی که شاره به جسم درون شاره وارد می‌کند، در راستای قائم و به سمت بالا می‌شود.

توجه اگر جسمی را درون شاره (گاز یا مایع) در حالت تعادل قرار دهید و رها کنید در جهت افقی حرکت نمی‌کند، یعنی برایند نیروهای ناشی از فشار، در راستای افقی صفر است.

تست: مطابق شکل، جسمی توسط یک نیروسنج داخل آب قرار گرفته و در تعادل است. اگر نیروسنج ۴ نیوتون را نشان دهد، کدام گزینه ممکن است وزن این جسم باشد؟

۱) ۲ ۲) ۳

۳) ۴ ۴) ۶

پاسخ : وقتی یک جسم درون آب قرار می‌گیرد، از طرف آب نیروی شناوری (رو به بالا) به جسم وارد می‌شود و وزن ظاهری جسم کم‌تر از وزن واقعی آن خواهد شد. پس وزن این جسم باید از ۴ نیوتون بزرگ‌تر باشد. بنابراین گزینهٔ (۴) درست است.

مقایسهٔ نیروی وزن و نیروی شناوری: نیروی شناوری را با F_b نمایش می‌دهند و طبق توضیحات بالا نیروی F_b در راستای قائم و رو به بالا وارد می‌شود. با توجه به مقدار F_b و W سه حالت رخ می‌دهد:

۱) $F_b < W \Rightarrow$ ته‌نشینی جسم درون شاره

۲) $F_b = W \Rightarrow$ غوطه‌ور شدن جسم درون شاره

۳) $F_b > W \Rightarrow$ بالا آمدن جسم درون شاره و خروج قسمتی از جسم از شاره و در نهایت شناوری

نکته هنگامی‌که یک جسم درون مایع بالا می‌آید، $F_b > W$ است. ولی هنگامی که قسمتی از جسم از مایع خارج شده و جسم در سطح آب شناور می‌شود، نیروی شناوری جدید برابر نیروی وزن می‌شود، یعنی $F'_b = W$

تست: در چه تعداد از پدیده‌های زیر، نیروی شناوری هم‌اندازهٔ نیروی وزن جسم است؟

آ) پایین رفتن آرام سنگ در آب

ب) شناور ماندن یک قطعه چوب در سطح آب

پ) معلق ماندن یک جسم درون آب

ت) بالارفتن توپ پلاستیکی تا قبل از رسیدن به سطح آب

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

پاسخ : اگر نیروی شناوری را با F_b و وزن جسم را با W نشان دهیم، می‌توان در هر پدیدهٔ گفته‌شده، این دو را مقایسه کرد.

آ) $F_b < W$ ب) $F_b = W$ پ) $F_b = W$ ت) $F_b > W$

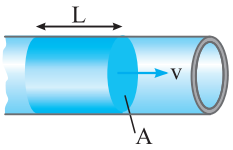
بنابراین گزینهٔ (۲) درست است.

نکته هنگامی‌که چگالی یک جسم از چگالی مایعی که جسم در آن قرار دارد، کم‌تر باشد، جسم به سطح مایع آمده و روی سطح مایع شناور می‌شود. در این صورت، هر چه چگالی جسم کم‌تر باشد، حجم بیش‌تری از جسم از مایع خارج می‌شود تا زمانی‌که $F_b = W$ شده و جسم روی سطح مایع شناور شود.

ب) آهنگ جریان شاره و معادلهٔ پیوستگی

در این بخش ابتدا آهنگ جریان شاره و سپس معادلهٔ پیوستگی را بررسی می‌کنیم.

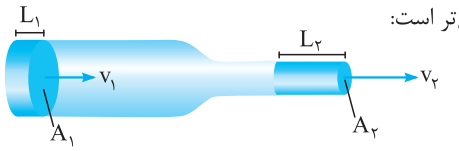
آهنگ جریان شاره: اگر مطابق شکل، جریان یکنواختی از شاره با تندی ثابت v درون لوله‌ای با سطح مقطع A حرکت کند، حجم معینی از شاره به‌صورت AL در مدت زمان t دارای آهنگ شارش به‌صورت زیر می‌باشد:



$$\text{آهنگ شارش شاره} = \frac{\text{حجم شارهٔ عبوری}}{\text{مدت زمان}} = \frac{AL}{t} \xrightarrow{\frac{L}{t}=v} \boxed{\text{آهنگ شارش شاره} = Av}$$

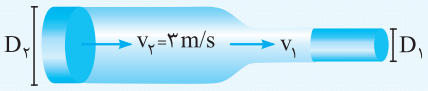
نکته یکای v برابر m/s و یکای A برابر m^2 است، بنابراین یکای آهنگ شارش شاره در SI برابر m^3/s می‌باشد.

معادلهٔ پیوستگی: اگر جریان لایه‌ای (غیرآشوب) مطابق شکل در لوله‌ای با دو سطح مقطع متفاوت برقرار باشد، در حالت پایا، مقدار جرم عبوری از دو لوله باید یکسان باشد، یعنی اگر در مدت زمان t جرمی به اندازهٔ m از مقطع بزرگ عبور کند، در همین مدت زمان باید جرم m از مقطع کوچک نیز عبور کند یعنی آهنگ جریان عبوری از دو مقطع باید یکسان باشد. بنابراین تندی شاره در قسمت نازک‌تر بیش‌تر است:



$$\text{آهنگ شارش یکسان} \Rightarrow A_1v_1 = A_2v_2 \xrightarrow{A_1>A_2} v_1 < v_2$$

تست: مطابق شکل مایعی درون لوله در جریان است. درصورتی‌که $D_2 = 3D_1$ باشد، v_1 چند متر بر ثانیه است؟ (لوله‌ها کاملاً از مایع پر هستند.)



۱) ۱ ۲) ۳
۳) ۹ ۴) ۲۷

پاسخ: برای استفاده از معادلهٔ پیوستگی، نسبت مساحت‌های قسمت پهن و باریک لوله لازم است. وقتی قطر قسمت پهن لوله سه برابر قسمت باریک لوله است، مساحت قسمت پهن ۹ برابر قسمت باریک آن است. زیرا:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{\pi(\frac{D_2}{2})^2}{\pi(\frac{D_1}{2})^2} = \frac{(\frac{3D_1}{2})^2}{(\frac{D_1}{2})^2} = \frac{\frac{9D_1^2}{4}}{\frac{D_1^2}{4}} = 9$$

حالا می‌توانیم از معادلهٔ پیوستگی استفاده کنیم:

$A_1v_1 = A_2v_2 \Rightarrow A_1 \times v_1 = 9A_1 \times 3 \Rightarrow v_1 = 27\,m/s \Rightarrow$ گزینهٔ (۴) درست است.

تست: دو لوله با قطرهای $D_1 = 12\,cm$ و $D_2 = 4\,cm$ به یکدیگر متصل شده‌اند و جریان لایه‌ای آب در آن‌ها برقرار است. اگر تندی آب در لولهٔ بزرگ $2\,m/s$ باشد، تندی آب در لولهٔ کوچک چند m/s است؟

۱) $\frac{2}{3}$ ۲) ۶ ۳) $\frac{2}{9}$ ۴) ۱۸

پاسخ: مساحت با مجذور قطر رابطهٔ مستقیم دارد و طبق معادلهٔ پیوستگی می‌توان نوشت:

$A_1v_1 = A_2v_2 \xrightarrow{D_1=3D_2 \Rightarrow A_1=9A_2} 9A_2 \times (2) = A_2 \times v_2 \Rightarrow v_2 = 18\,m/s \Rightarrow$ گزینهٔ (۴) درست است.

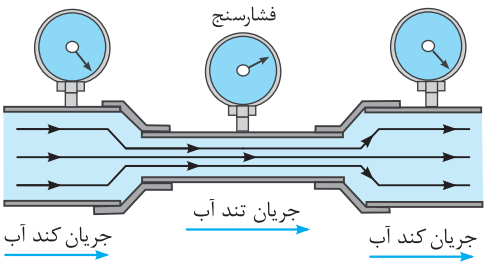
تست: در انتهای یک لولهٔ آتش‌نشانی، شیر بسته شده است. قطر قسمت ورودی شیر $10\,cm$ و قطر قسمت خروجی آن $2\,cm$ است. اگر آب با تندی $2/5\,m/s$ از لوله وارد شیر شود، تندی خروج آب از شیر چند متر بر ثانیه است؟

۱) ۲/۵ ۲) ۱۰ ۳) ۱۲/۵ ۴) ۶۲/۵

پاسخ: با توجه به اطلاعات سؤال، $r_1 = 5\,cm$ و $r_2 = 1\,cm$ شعاع قسمت ورودی و خروجی شیر است. با توجه به معادلهٔ پیوستگی می‌توان نوشت:

$A_1v_1 = A_2v_2 \Rightarrow \pi r_1^2 v_1 = \pi r_2^2 v_2 \Rightarrow (5)^2(2/5) = (1)^2 \times v_2 \Rightarrow v_2 = 62/5\,m/s \Rightarrow$ گزینهٔ (۴) درست است.

پ) اصل برنولی



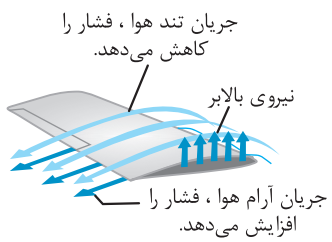
اگر مایعی تراکم‌ناپذیر مطابق شکل درون لوله‌ای پر از مایع در حال حرکت باشد، تندی مایع در قسمت نازک‌تر بیش‌تر می‌شود، زیرا مقدار آبی که در مدت یکسان از تمام قسمت‌ها عبور می‌کند باید یکسان باشد. عدد فشارسنج در قسمت‌های نازک‌تر کم‌تر از قسمت‌های دیگر است، یعنی:

«در مسیر حرکت شاره، با افزایش تندی شاره، فشار آن کاهش می‌یابد.»

عبارت بالا اصل برنولی می‌باشد.

نکته اصل برنولی برای مایع‌ها و گازهایی که به طور لایه‌ای، غیر آشوبناک و در امتداد افق حرکت می‌کنند، صادق است. هم‌چنین فرض می‌شود که شاره، تراکم‌ناپذیر است و اصطکاک داخلی (گران رَوی) ندارد.

چند کاربرد عملی اصل برنولی



بال هواپیما: شکل بال هواپیما باعث می‌شود تندی هوا در بالای بال بیش‌تر از پایین بال شود، بنابراین فشار شاره در بالای بال کم‌تر از پایین می‌شود و این اختلاف فشار باعث ایجاد نیروی خالصی رو به بالا و شناور شدن هواپیما می‌شود. توجه کنید که بال هواپیما فقط بخش کوچکی از نیروی بالابر را تأمین می‌کند.

کات دادن توپ: هنگامی‌که توپ را ضمن حرکت رو به جلو، مطابق شکل چرخش هم می‌دهیم، سرعت هوا در ناحیهٔ A بیش‌تر از ناحیهٔ B می‌شود، بنابراین فشار هوا در ناحیهٔ A کم‌تر از B می‌شود و این اختلاف فشار باعث می‌شود تا توپ به سمت A منحرف شود.

تست: چه تعداد از پدیده‌های زیر به علت اصل برنولی ایجاد می‌شوند؟

آ) بالا آمدن یک کاغذ بر اثر دمیدن در سطح بالای آن

ب) استفاده در کاربراتور موتورهای بنزینی قدیمی

پ) برآمده شدن پوشش برزنتی روی کامیون‌ها هنگام حرکت آن‌ها

ت) خارج شدن دود درون خودروی در حال حرکت، هنگامی که شیشهٔ خودرو پایین باشد.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

پاسخ: هر چهار پدیده‌ای که به آن‌ها اشاره شده است براساس اصل برنولی توجیه‌پذیر هستند و از این اصل پیروی می‌کنند. یعنی گزینهٔ (۴) درست است.

اکنون می‌توانید به تست‌های این قسمت در جلد تست پاسخ دهید.